



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

ROBOTIZACE OBRÁBĚCÍHO STROJE

ROBOTIZATION OF MACHINE TOOLS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Roman Tabarka

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Dr. Ing. Radek Knoflíček

BRNO 2021

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student: **Roman Tabarka**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.**
Akademický rok: 2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Robotizace obráběcího stroje

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Šestiosé roboty typu RRR nejčastěji zajišťují obsluhu výrobních strojů (obráběcích a tvářecích) způsobem zvaným "Pick and place", tedy manipulace s materiálem (obrobkem), jako je například jeho uchopení, otáčení a přesouvání na další pozice, zakládání do pracovního prostoru stroje, případně ukládání do přepravek či palet na koncích výrobních linek s výrobními stroji. Průmyslové roboty jsou často nasazeny v uzlech jednotlivých výrobních technologií, kde v posledních letech nahrazují málo pružné a jednoduché dopravníky mezioperační dopravy. Novinkou poslední doby jsou kooperativní roboty, které splňují náročná kritéria na bezpečnost provozu a obsluhu výrobních strojů a mohou pracovat v těsné blízkosti s člověkem, aniž mu ublíží. Automatizace zajištěná roboty rozhodujícím způsobem zvyšuje produktivitu vlastních obráběcích strojů. Výroba je efektivní a se ziskem, a to dokonce i u velmi složitých součástí. Automatizace činnosti obráběcích strojů udržuje trvale krok s rostoucími požadavky na kvalitu obráběných součástí. Obráběcí stroje a roboty navzájem kooperují v nejčastěji v oblastech použití, jako jsou manipulace s obrobky, paletování obrobků, dále vzájemného propojení strojů i v oblasti dokončování finálních operací při zpracování obrobků kartáčování nebo odstraňování otřepů a také manipulace s nástroji.

Cíle bakalářské práce:

Popis současného stavu CNC obráběcí techniky a průmyslových robotů (včetně kolaborativních), vhodných pro použití u obráběcích strojů.

Systémový rozbor řešené problematiky – spolupracující soustavy – obráběcí stroj–robot.

Rešerše známých řešení (tj. stávajících, dlouhodobě používaných) a nalezení nových, pokrokových způsobů zajištění aplikace automatizace obráběcích strojů pomocí průmyslových robotů.

Vlastní závěry a/nebo doporučení pro další rozvoj řešené problematiky.

Seznam doporučené literatury:

MAREK, Jiří. Konstrukce CNC obráběcích strojů IV.0. Praha: MM publishing, 2018. MM speciál. ISBN 978-80-906310-8-3.

KOLÍBAL, Zdeněk. Roboty a robotizované výrobní technologie. První vydání. Brno: Vysoké učení technické v Brně – nakladatelství VUTIAM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.

SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS, VLK, Miloš (ed.). Konstruování strojních součástí. 1. vyd. Přeložil Martin HARTL. V Brně: VUTIAM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá robotizací obráběcího stroje. V práci je popsáno zhodnocení současného stavu z hlediska robotizace CNC obráběcích strojů. Dále je zde navržen vlastní postup pro návrh robotizovaného technologického pracoviště. Nad rámec zadání byla vypracována případová studie z praxe.

KLÍČOVÁ SLOVA

Obráběcí stroj, průmyslový robot, kolaborativní robot, řídicí systém, technické parametry, robotizace, automatizace

ABSTRACT

This bachelor thesis focuses on the robotization of machine tools. This work describes the evaluation of the current state in terms of robotization of CNC machine tools. In addition to the assignment, a case study from practice was prepared.

KEYWORDS

Machine tool, industrial robot, collaborative robot, control system, technical parameters, robotization, automation

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

TABARKA, Roman. Robotizace obráběcího stroje [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-05-04]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132046>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Radek Knoflíček.

PODĚKOVÁNÍ

Velmi rád bych tímto chtěl poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce Radku Knoflíčkovi za odborné vedení, cenné rady, trpělivost i čas, který mi věnoval při řešení dané problematiky. Dále bych také velmi rád poděkoval společnosti Mesit & Röders v. o. s., především panu Liboru Bříšťelovi za poskytnutí podkladů pro případovou studii z praxe a cenné rady.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Dr. Ing. Radkem Knoflíčkem a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 4.5.2021

.....

Tabarka Roman

OBSAH

1	ÚVOD	15
2	SOUČASNÝ STAV CNC OBRÁBĚCÍ TECHNIKY A PRŮMYSLOVÝCH ROBOTŮ.....	16
2.1	CNC obráběcí stroj	16
2.1.1	Současný stav CNC obráběcích strojů.....	16
2.1.2	Definice procesu obrábění	17
2.1.3	Rozdělení CNC obráběcích strojů	17
2.1.4	CNC Frézky a soustruhy.....	18
2.1.5	CNC obráběcí centrum	18
2.1.6	Výhody OC.....	19
2.1.7	Výrobci obráběcích strojů	19
2.1.8	Světoví výrobci.....	19
2.1.9	Tuzemští výrobci	26
2.2	Průmyslové roboty a manipulátory	30
2.2.1	Definice průmyslového robotu	30
2.2.2	Průmyslové roboty	30
2.2.3	Rozdělení manipulačních zařízení a generace robotů	30
2.2.4	Konstrukce průmyslového robotu	32
2.2.5	Průmyslové roboty vhodné pro obráběcí stroj.....	33
2.2.6	Výrobci průmyslových robotů.....	34
2.3	Kolaborativní roboty	38
2.4	Porovnání průmyslového robotu a kolaborativního robotu	40
3	SYSTÉMOVÝ ROZBOR ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY SPOLUPRACUJÍCÍ SOUSTAVY – OBRÁBĚCÍ STROJ – PRŮMYSLOVÝ ROBOT / KOBOT ...	41
3.1	Systémový rozbor	41
3.2	Systémový rozbor PR/Kobot – OS	41
4	REŠERŠE ZNÁMÝCH ŘEŠENÍ AUTOMATIZACE OS.....	44
4.1	Automatizace a robotizace	44
4.1.1	Robotizace v technologii obrábění	44
4.1.2	Transferové stroje	48
4.1.3	Kolaborativní robot obsluhující obráběcí stroj	49
4.2	Robotizované technologické pracoviště (RTP)	50
4.2.1	Návrh RTP.....	50
4.2.2	Typy RTP	51
4.2.3	Řízení RTP	53
4.2.4	RTP a manipulace s materiálem	53
4.3	Automatizovaná výrobní soustava (AVS)	54
4.3.1	Pružné výrobní buňky (PVB)	55
4.3.2	Pružné výrobní linky (PVL)	55
4.3.3	Pružná výrobní soustava (PVS).....	55
4.3.4	Computer integrated manufacturing (CIM).....	56
4.3.5	Technologické trendy a Průmysl 4.0	56
4.4	Shrnutí a přehled řešení robotizace OS.....	57
5	NÁVRH ROBOTIZACE OS.....	58
5.1	Návrh robotizace OS.....	58

5.1.1	Zhodnocení technických parametrů a technologických vlastností OS.....	59
5.1.2	Zhodnocení technických parametrů a technologických vlastností PR.....	59
5.1.3	Zhodnocení vyráběné součásti z hlediska technologie a možnosti robotizace procesu	59
5.1.4	Možnosti nasazení robotu v technologii obrábění.....	59
5.1.5	Studie proveditelnosti.....	59
5.1.6	Zhodnocení z hlediska času pracovního cyklu.....	60
5.1.7	Zhodnocení z ekonomického hlediska	60
5.2	Blokové schéma návrhu robotizace CNC OC ve firmě.....	61
5.3	Příklad robotizovaného pracoviště	62
5.3.1	Číslicově řízené obráběcí centrum typ MÜGA S 500.....	62
5.3.2	Obráběná součást.....	64
5.3.3	Průmyslový robot – YASKAWA MH5LF.....	64
5.3.4	Studie proveditelnosti.....	65
5.3.5	Zvýšení produktivity pracoviště	71
5.3.6	Vyhodnocení efektivit aplikace PR.....	71
5.3.7	Výpočet doby návratnosti.....	72
5.3.8	Dílčí závěr k návrhu RTP.....	72
6	VLASTNÍ ZÁVĚRY A DOPORUČENÍ PRO DALŠÍ ROZVOJ ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	73
7	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	75
8	SEZNAM ZKRATEK, OBRÁZKŮ A TABULEK.....	79
8.1	Seznam tabulek.....	79
8.2	Seznam obrázků.....	79
8.3	Seznam použitých zkratk.....	81
9	SEZNAM PŘÍLOH.....	82

1 ÚVOD

Pojmem robotizace obráběcího stroje se rozumí implementace průmyslového robotu k obráběcímu stroji pro zajištění automatizovaného chodu pracovního procesu za účelem zvýšení produktivity vlastního obráběcího stroje a snížením nákladů na výrobu. Průmyslové roboty jsou často nasazeny v uzlech jednotlivých výrobních technologií, kde nahrazují v posledních letech málo pružné a jednoduché dopravníky mezioperační dopravy nebo lidi a vykonávají převážně manipulaci s materiálem (obrobky), paletování obrobků. V neposlední řadě mohou provádět i dokončovací/drobné operace (kartáčování, srážení hran, ofukování, vrtání, a další). Novinkou v oblasti robotiky jsou kolaborativní roboty, které jsou uzpůsobené spolupracovat v těsné blízkosti člověka díky splňujícím kritériím týkajících se bezpečnosti provozu a obsluhy výrobních strojů. Kolaborativní roboty slouží většinou ke spolupráci s člověkem ve smyslu asistence při různých činnostech, tudíž se jedná většinou o částečnou automatizaci. Automatizace činnosti obráběcích strojů udržuje krok s rostoucími nároky na kvalitu obráběných součástí, a proto je považována tato oblast techniky za perspektivní. Ovšem je potřeba brát v úvahu, že implementace průmyslového nebo kolaborativního robotu je potřeba řádně zvážit a zanalyzovat, zda se pro danou firmu tato investice vyplatí či nikoliv.

V práci je popsán současný stav CNC obráběcích strojů a průmyslových robotů (včetně kolaborativních) pro přehled a následné porozumění systémovému rozboru řešené problematiky spolupracující soustavy obráběcí stroj – průmyslový/kolaborativní robot. Dále je provedena rešerše a uvedení známých řešení automatizace obráběcího stroje. V další části je popsán rámcový postup, jak z technického a provozního hlediska dát podnět k zamyšlení a stručný návod na uplatnění průmyslového robotu u obráběcího stroje. V poslední části je provedena případová studie robotizovaného technologického pracoviště v praxi.

Závěr práce je věnován zhodnocení robotizace obráběcího stroje na obecné úrovni, ale i samotné případové studie z praxe, včetně kritického zhodnocení.

2 SOUČASNÝ STAV CNC OBRÁBĚCÍ TECHNIKY A PRŮMYSLVÝCH ROBOTŮ

2.1 CNC obráběcí stroj

2.1.1 Současný stav CNC obráběcích strojů

Současný stav CNC obráběcích strojů a jeho vývoj do budoucnosti ovlivňuje především dynamičnost okolí neboli měnící se požadavky ze strany zákazníka a současné trendy na trhu. Především se klade velký důraz na to, aby se součást obráběla v co nejkratším čase, tím se může rozumět vyhotovení obrobku na co nejméně upnutí, s co největší přesností a pokud možno za co nejmenší náklady. S tím souvisí i to, že se firmy musí velmi rychle adaptovat na dané změny, aby udrželi krok s trhem a vůbec aby přežily. Výjimečně je možné se setkat také ale s tím, že stroj je doopravdy tak unikátně koncipován včetně technologií, které jsou na něm aplikovány, že si právě výrobce diktuje, jak bude vypadat. Převládá ale první varianta, kdy zákazník je v hlavní roli a na základě jeho požadavků je stroj navrhován a konstruován do finální podoby. Následně je nedílnou součástí pravidelný servis stroje po celou dobu záruky i po ní pro vybudování dobrých vztahů mezi zákazníkem a výrobcem. Lidstvo se nachází ve zrychleném světě technologií. Jednoduše řečeno, co považujeme dnes za inovativní, může být zítra považováno za obyčejné. Je to řečeno samozřejmě s nadsázkou, ale do určité míry to tak ve skutečnosti je [1].

Jedním z hlavních aspektů, které by měla firma mít, aby si udržela své dobré jméno na trhu, je právě zmiňovaná inovace. Jednou z takových inovačních věcí, které můžou pomoci firmě být úspěšnou, je použití rozšířené virtuální reality pro prezentaci daného stroje zákazníkovi. Pokud chce firma uspět, nesmí se bát realizovat nové nápady, které můžou firmě zajistit lepší prosperitu, ale můžou také skončit neúspěchem. S tím souvisí i to, když výrobce nechá zákazníka navrhnout nějakou inovaci, získá si tak o to více jeho pozornost pro následnou koupi stroje [1].

Současným trendem, jak zefektivnit výrobní proces obráběcího stroje, je jeho automatizace včetně obsluhy. Tohoto se docílí pomocí průmyslových robotů a manipulátorů (PRaM), které zajistí větší produktivitu výroby. Pokud chceme daný obráběcí stroj automatizovat (taktéž můžeme označovat pojmem “robotizovat”), je potřeba, aby měl řídicí systém, který je možné synchronizovat s PRaM, a další požadavky, jako je ovládání cyklu obrábění a upínacích prvků pomocí programu.

Shrnutí trendů ve vývoji obráběcích strojů jsou [2]:

- automatizace pracovního procesu s aplikací průmyslových robotů a manipulátorů (PRaM) v robotizovaných technologických pracovištích (RTP);
- elektronizace pracovních procesů a pomocných funkcí stroje;
- výkonné řezné nástroje a upínací nářadí pro nové konstrukce obráběcích strojů;
- postupné řešení bezobslužných strojů, které představují autonomní technologické jednotky s automatickou manipulací s nástroji, obrobky i odpadem;
- postupné sestavování strojů do RTP, automatizovaných výrobních soustav (AVS) a pružných výrobních soustav (PVS).

2.1.2 Definice procesu obrábění

Pojmem obrábění rozumíme technologickou operaci, kdy dochází k odebírání materiálu obrobku za vzniku odpadu ve formě třísek. CNC obráběcí stroj je číslicově řízený stroj počítačem a je zkonstruovaný tak, aby mohl pracovat v automatickém cyklu, s automatickou výměnou nástrojů a případně i obrobků. CNC obráběcí stroj se skládá ze čtyř hlavních částí, kterými jsou: mechanická část, elektrická část, PLC a procesní média. Kde mechanická část zajišťuje relativní pohyb mezi obrobkem a řezným nástrojem. Elektrická část zajišťuje, aby byly v mechanické části prováděny požadované úkony na základě zadaných povelů. PLC je řídicí systém s programovatelnou pamětí a je to takový mezipřechodník sloužící pro komunikaci mechanické a elektrické části. V poslední řadě se jedná o procesní média, které jsou nezbytné pro plynulý a správný chod celého stroje [1].

2.1.3 Rozdělení CNC obráběcích strojů

CNC obráběcí stroje se rozdělují podle následující stavby, funkcí a aplikací [1]:

- 1) uspořádání kinematického řetězce:
 - sériové
 - paralelní
 - smíšené
- 2) polohy osy vřeten:
 - svislé (vertikální) – viz obr. 1), 2), 3), 4), 11)
 - vodorovné (horizontální) – viz obr. 9)
 - univerzální – viz obr. 5)
- 3) počtu řízených os:
 - tříosé
 - víceosé (4,5) – viz kapitoly 1.1.8, 1.1.9
- 4) počtu vřeten:
 - jednovřetenové
 - vícevřetenové
- 5) tvaru obráběného obrobku:
 - rotační obrobky
 - nerotační obrobky
 - multifunkční (semimultifunkční) – viz obr. 5), 8), 10)
- 6) aplikace:
 - speciální použití (HSC, HFM, mikroobrábění, ...) – viz obr. 6)
 - nízkonákladové provedení
 - v kusové, malosériové, velkosériové a hromadné výrobě
 - v různém průmyslu (těžký, energetický, letecký, dopravní)
- 7) Možnosti provést více druhů technologických operací
 - Obráběcí centra – viz kapitoly 1.1.8, 1.1.9
 - Semimultifunkční obráběcí centra
 - Multifunkční obráběcí centra – viz obr. 5), 8), 10)

2.1.4 CNC Frézky a soustruhy

Existují tedy CNC obráběcí stroje vykonávající pouze jednu obráběcí operaci, to jsou tzv. jednoprofesní CNC obráběcí stroje. Nejčtenější skupinou v průmyslové praxi zaujímají CNC obráběcí stroje vykonávající třískové operace frézování a soustružení. Tyto stroje se nazývají frézky a soustruhy. V dnešní době je možné se setkat s různými koncepcemi CNC stolových frézek (s posuvným stojanem, s výsuvným vřeteníkem), nebo s CNC ložovými frézky. Výrobci se snaží dané metody a koncepce neustále posouvat na vyšší úroveň. Například na místo frézek s křížovým stolem se ukazují efektivnější frézky se stolem posouvajícím se pouze v jedné ose a vřeteníkem s univerzální otočnou hlavou [1].

2.1.5 CNC obráběcí centrum

Jestliže číslicově řízený obráběcí stroj splňuje následující podmínky:

- Může provádět více druhů třískových operací.
- Pracuje v automatickém cyklu.
- Je vybaven automatickou výměnou nástrojů a obrobků.
- Může pracovat v bezobslužném provozu.
- Je vybaven prvky diagnostiky a měření.
- Je vybaven prvky inteligence.

jedná se o obráběcí centrum (dále „OC“). Pro OC je charakteristické, že vždy jedna z obráběcích operací dominuje, tzn. hlavní operace je soustružení a vedlejší je frézování, v takovém případě se jedná o soustružnické OC, kdy se obrábí převážně rotační obrobky. Druhou variantou je, že hlavní operace je frézování a vedlejší soustružení, v tomto se tento typ stroje označuje jako frézovací OC, a obrábí se zde převážně nerotační obrobky. Dále existují multifunkční OC a semi-multifunkční OC [1].

Multifunkčním OC se označuje CNC obráběcí stroj s těmito body:

- provádí se více obráběcích operací na jedno upnutí;
- má vlastností obráběcího centra;
- velkou kinematickou adaptabilitu v obrobku a nástroji;
- při různých typech třískového obrábění má přiblížené velikosti instalovaných výkonů (zejména kroutících momentů).

Semimultifunkční OC je potom takový CNC obráběcí stroj, který má kombinované vlastnosti OC a multifunkčního OC. Tedy přesněji řečeno, že do pohybových os je vložen soustružnický nůž nebo frézovací vřetení, ale technicky využitelné parametry (výkon, moment) jsou výrazně rozdílné [1].

2.1.6 Výhody OC

Obráběcí centrum má vzhledem ke konvenčním strojům tyto výhody:

- vyšší produktivita výroby;
- vyšší přesnost výroby (více operací na jedno upnutí);
- menší požadavky na výrobní přípravky a pomůcky;
- potřeba méně kvalifikované obsluhy.

2.1.7 Výrobci obráběcích strojů

Výrobou a vývojem CNC obráběcích strojů se zabývá celosvětově velká řada firem, avšak světovou velmocí je Japonsko, které má zastoupení 35 firem ve světovém žebříčku 100 nejlepších firem, následuje Německo s 17 a poté Čína s 13. Česká republika má v tomto žebříčku zastoupení 2 firem [3]. Pro ukázkou jsou níže uvedeni 6 světoví a 4 tuzemští výrobci a jejich nejnovější nabídky CNC obráběcích center (OC). Obecně u všech OC je kladen důraz na preciznost, přesnost a rychlost pracovního procesu.

S tím jsou spojeny tyto důležité aspekty:

- vysoká pevnost a tuhost
- vysoká dynamická a tepelná stabilita
- vysoká spolehlivost

Výrobci nabízejí více verzí určitého obráběcího stroje s vybavením a danými technickými parametry, ale v případě specifických požadavků zákazníka se dá stroj nakonfigurovat přímo podle jeho představ na míru.

2.1.8 Světoví výrobci

Jako světově nejproslulejší společnost je považována japonská firma Yamazaki Mazak. V následujícím seznamu jsou zastoupeni 4 japonští výrobci, 1 čínský výrobce a 1 výrobce z USA.

1. Yamazaki Mazak (Mazak) – Japonsko



Obr. 1) Obráběcí centrum CV5-500 [4]

Tab. 1) Technické parametry CV5-500 [4]

Pracovní prostor	mm	X: 730, Y: 450, Z: 470
Rozměr stolu (průměr)	mm	500
Zásobník nástrojů	ks	30 (max 48)
Rychloposuv	m/min	X: 36, Y: 36, Z: 30
Počet řízených os		5
Vřeteno		
Otáčky	ot./min	12 000 – 18 000
Výkon pohonu	kW	11
Točivý moment	Nm	119,4

Další informace [4]:

- vertikální obráběcí centrum
- rotace v ose C 360 stupňů
- plně podporovaný naklápěcí rotační stůl s vačkovou převodovkou na osách B/C a válečkovými lineárními vedeními na osách X, Y a Z
- minimální půdorys s bočním dopravníkem třísek
- CNC systém MAZATROL SmoothX

2. Okuma (Okuma) – Japonsko



Obr. 2) Obráběcí centrum GENOS M460V-5AX [5]

Tab. 2) Technické parametry GENOS M460V-5AX [5]

Pracovní prostor	mm	X: 762, Y: 460, Z: 460
Rozměr stolu (průměr)	mm	400
Zásobník nástrojů	ks	32 (max 48)
Rychloposuv	m/min	X: 40, Y: 40, Z: 32
Počet řízených os		5
Vřeteno		
Otáčky	ot./min	15 000
Výkon pohonu	kW	22

Další informace:

- vertikální obráběcí centrum
- rychloposuv v A: 14,4 stupňů/min, C: 18 stupňů/min
- hypoidní převodovka
- minimální půdorys

3. Mori Seiki (DMG Mori Seiki) – Japonsko



Obr. 3) Obráběcí centrum CMX 70 U [6]

Tab. 3) Technické parametry CMX 70 U [6]

Pracovní prostor	mm	X: 750, Y: 600, Z: 520
Rozměr stolu (průměr)	mm	800
Zásobník nástrojů	ks	30 (max 60)
Rychloposuv	m/min	X: 30, Y: 30, Z: 30
Počet řízených os		5
Vřeteno		
Otáčky	ot./min	12 000 – 15 000
Výkon pohonu	kW	9
Točivý moment	Nm	83

Další informace [6]:

- vertikální obráběcí centrum
- rozsah naklápění v ose B - 10 až 95 stupňů
- maximální zatížení stolu 350 kg
- konstrukce optimalizována metodou konečných prvků
- boční dopravník třísek
- ovládací systém SIEMENS nebo HEIDENHAIN

4. Shenyang (SMTCL) – Čína



Obr. 4) Obráběcí centrum VMC0656e [7]

Tab. 4) Technické parametry VMC0656e [7]

Pracovní prostor	mm	X: 600, Y: 560, Z: 450
Rozměr stolu (průměr)	mm	400
Zásobník nástrojů	ks	12
Rychloposuv	m/min	X: 20, Y: 20, Z: 20
Počet řízených os		5
Vřeteno		
Otáčky	ot./min	18 000
Výkon pohonu	kW	25/35
Točivý moment	Nm	87/130

Pozn.: V tabulce jsou uvedeny různé hodnoty parametrů skrze různých variací konstrukce stroje.

Další informace [7]:

- mostní konstrukce vertikálního obráběcího centra
- box-in-box konstrukce – vysoká tuhost
- maximální zatížení stolu 250 kg
- ovládací systém: FIYANG / HEIDENHAIN / SIEMENS

5. Haas (Haas) – USA



Obr. 5) Obráběcí centrum UMC-750 [8]

Tab. 5) Technické parametry UMC-750 [8]

Pracovní prostor	mm	X: 762, Y: 508, Z: 508
Rozměr stolu (průměr)	mm	800
Zásobník nástrojů	ks	30 (max 31)
Rychloposuv	m/min	X: 22,9, Y: 22,9, Z: 22,9
Počet řízených os		5
Vřeteno		
Otáčky	ot./min	8 100
Výkon pohonu	kW	22,4
Točivý moment	Nm	122

Další informace [8]:

- univerzální obráběcí centrum
- možnost naklápění hlavního stolu (osa C) -35 až +120 stupňů
- dálková diagnostika stroje

6. FANUC (FANUC) – Japonsko



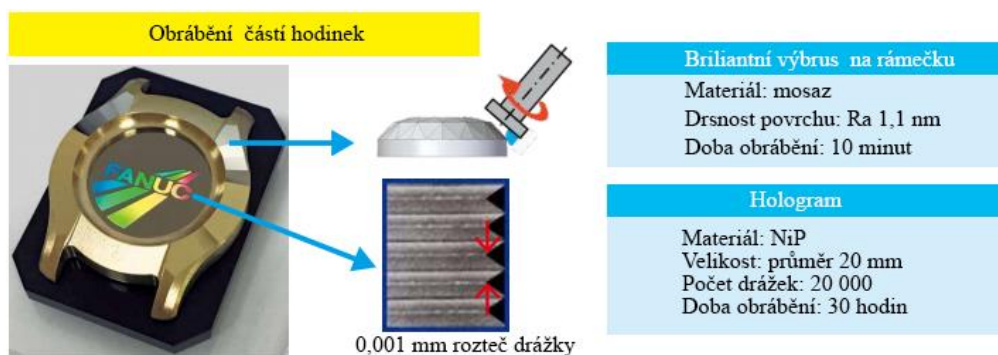
Obr. 6) CNC Obráběcí stroj FANUC ROBONANO α-NMiA [9]

Tab. 6) Technické parametry FANUC ROBONANO α-NMiA [9]

Pracovní prostor	mm	X: 450, Y: 200, Z: 300
Rozměr stolu (průměr)	mm	215
Rychloposuv	mm/min	X: 1000, Y: 200, Z: 1000
Počet řízených os		5
Vřeteno		
Otáčky (frézování)	ot./min	50 000
Pohonný systém		Vzduchová turbína

Další informace [9]:

- CNC obráběcí centrum
- vysoce přesný (rozlišení 0,1 nm)
- obrábění nadstandardních materiálů
- konstrukce nosná, vzdušná (pro zamezení tření)
- Oblast použití: hodinářství, informační technologie, automobilový průmysl



Obr. 7) Příklad výrobku pomocí FANUC ROBONANO α-NMiA (upraveno) [9]

2.1.9 Tuzemští výrobci

Česká republika si vede poměrně dobře v oblasti CNC obráběcích strojů. Čeští výrobci jsou inovativní a můžou se tak srovnávat se zahraničními společnostmi. Mezi špičkové výrobce v České republice patří:

1. Kovosvit (MAS, Kovosvit) – Česká republika



Obr. 8) Obráběcí centrum MCU 700V[T]-5X NEXT GENERATION [10]

Tab. 7) Technické parametry MCU 700V[T]-5X NEXT GENERATION [10]

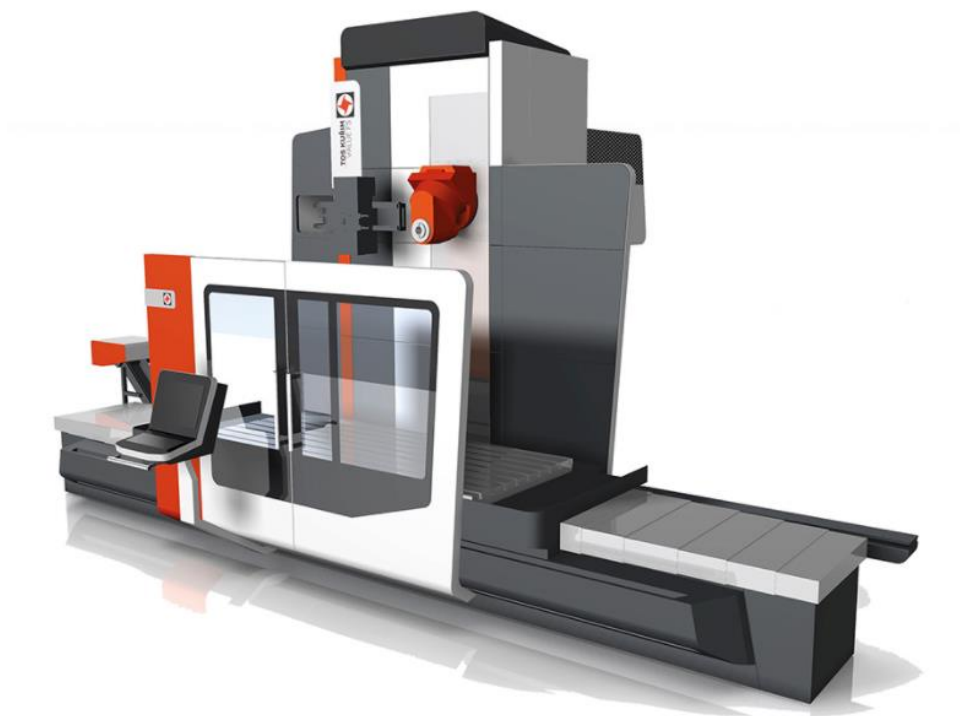
Pracovní prostor	mm	X: 700, Y: 820, Z: 550
Rozměr stolu (průměr)	mm	630/800
Zásobník nástrojů	ks	24
Rychloposuv	m/min	X: 60, Y: 60, Z: 60
Počet řízených os		5
Vřeteno		
Otáčky	ot./min	10 000
Výkon pohonu	kW	20/26
Točivý moment	Nm	262/340

Pozn.: V tabulce jsou uvedeny různé hodnoty parametrů skrze různých variací konstrukce stroje.

Další informace [10]:

- multifunkční obráběcí centrum
- nejširší technologické využití (souvislé 5-osé frézování, soustružení, ostatní technologie)
- maximální zatížení stolu 1300 kg
- naklápění v ose A -120 / + 120 stupňů
- naklápění v ose C 360 stupňů
- řídicí systém Sinumerik 840D
- dálková diagnostika stroje
- monitoring výroby

2. TOS Kuřim – Česká republika



Obr. 9) Obráběcí centrum TOS FS 100 [11]

Tab. 8) Technické parametry TOS FS 100 [11]

Pracovní prostor	mm	X: 2000, Y: 1000, Z: 1500
Rozměr stolu (délka x šířka)	mm	2000 x 1000
Rychloposuv	m/min	X: 20, Y: 20, Z: 20
Počet řízených os		5
Vřeteno		
Otáčky	ot./min	3200
Výkon pohonu	kW	14,2
Točivý moment	Nm	80

Další informace [11]:

- horizontální obráběcí centrum
- koncepce založena za účelem vysokého odběru materiálu při stabilním řezu
- možnost krytování celého pracovního prostoru
- vysoká tuhost a prostorová přesnost

3. Tajmac – ZPS (ZPS, Manurhin K'MX, Mori-Say) – Česká republika



Obr. 10) Obráběcí centrum MCG 1000 5XT [12]

Tab. 9) Technické parametry MCG 1000 5XT [12]

Pracovní prostor	mm	X: 1200, Y: 1000, Z: 700
Rozměr stolu (průměr)	mm	800/1000
Zásobník nástrojů	ks	30 (max 50)
Rychloposuv	m/min	X: 60, Y: 60, Z: 60
Počet řízených os		3 až 6
Vřeteno		
Otáčky	ot./min	14 000 – 18 000
Výkon pohonu	kW	25/37
Točivý moment	Nm	159/236

Pozn.: V tabulce jsou uvedeny různé hodnoty parametrů skrze různých variací konstrukce stroje.

Další informace [12]:

- multifunkční obráběcí centrum (vřeteno – frézování, vřeteno – frézování/soustružení)
- uložení smykadla typu „box in box“
- plně symetrický skelet stroje
- řídicí systém Sinumerik 840D SL / Heidenhain TNC 640 / FANUC
- naklápění v ose B -120 / +30 stupňů
- naklápění v ose C 360 stupňů

4. TOSHULIN – Česká republika



Obr. 11) Obráběcí centrum POWERTURN 800 [13]

Tab. 10) Technické parametry POWERTURN 800 [13]

Pracovní prostor	mm	Průměr: 1000, Výška: 1300
Rozměr stolu (průměr)	mm	800
Zásobník nástrojů	ks	45
Počet řízených os		5
Vřeteno		
Otáčky	ot./min	3 000 – 4 500
Výkon pohonu	kW	44/58

Další informace [13]:

- vertikální obráběcí centrum
- velmi přesné polohování v ose C
- maximální zatížení stolu 5000 kg [14]
- velmi přesné polohovací upínací desky
- vysokotlaké chlazení řezného procesu
- řídicí systém SIEMENS nebo FANUC

2.2 Průmyslové roboty a manipulátory

2.2.1 Definice průmyslového robotu

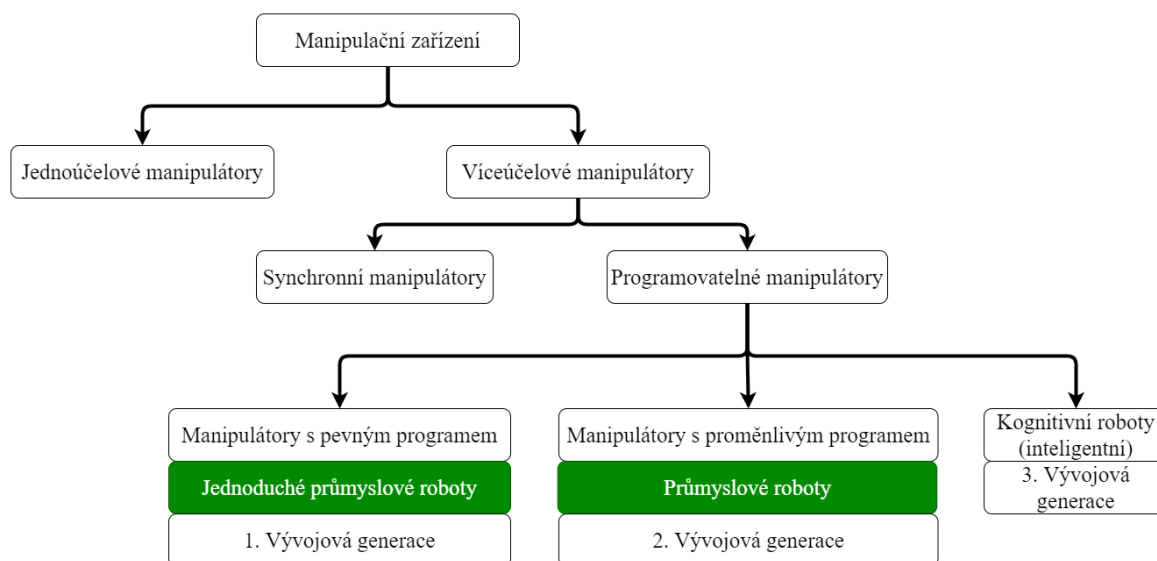
Definici průmyslového robotu vystihuje prof. P. N. Beljanin [2]: „*Průmyslový robot je autonomně fungující stroj-automat, který je určen k reprodukci některých pohybových a duševních funkcí člověka při provádění pomocných a základních výrobních operací bez bezprostřední účasti člověka, a který je k tomuto účelu vybaven některými jeho schopnostmi (sluchem, zrakem, hmatem, pamětí a podobně), schopností samovýuky, samoorganizace a adaptace, tj. přizpůsobivosti k danému prostředí.*“

2.2.2 Průmyslové roboty

Průmyslový robot (PR) je soustava (systém) tvořená jednotlivými prvky. Tyto prvky souvisí mezi sebou přesně vymezeným způsobem a vzájemně na sebe aktivně působí (tj. interaktivní vazba) a ovlivňují se [15]. Z hlediska ekonomického jsou nejvhodnější náhradou člověka v sériových výrobních. PR jsou implementovány do výroby, aby usnadnily člověku práci, a především zefektivnily výrobní proces. Využívají se jak ve výrobních sférách, tak i v nevýrobních sférách. Vykonávají především práce, které jsou monotónní, zdraví škodlivé (manipulace s těžkými břemeny), nebo když se jedná o práci v nepříznivém prostředí, ale mohou také vykonávat drobné technologické práce (broušení, vrtání, frézování, ...). PR se při výrobním procesu srovnávají s člověkem v různých faktorech (úroveň intelektu, fyzické možnosti, funkční možnosti) [2]. Dále existují jednoúčelové manipulátory, které jsou nedílnou součástí obráběcích center a vykonávají právě jednu funkci (výměník nástrojů, dopravník nástrojů, výměník palet, ...). Průmyslové roboty a manipulátory se značí zkratkou PRaM.

2.2.3 Rozdělení manipulačních zařízení a generace robotů

Průmyslové roboty se řadí mezi manipulační zařízení. Přesněji se jedná o víceúčelové manipulátory, které jsou programovatelné a mají buď pevný program (jednoduchý průmyslový robot), nebo proměnlivý (pružný) program (průmyslový robot). Kompletní rozdělení je znázorněno na následujícím schématu:



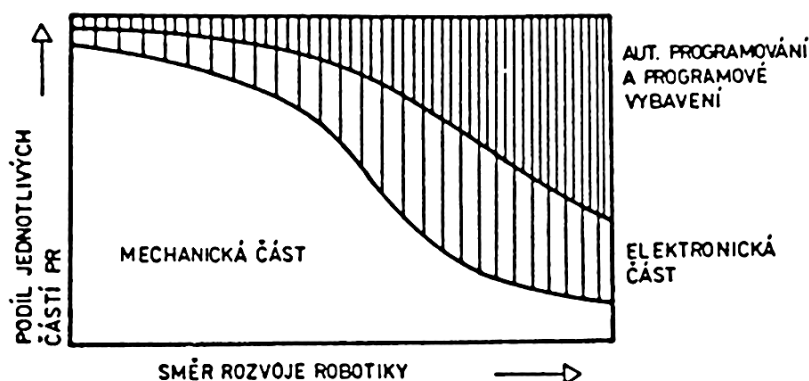
Obr. 12) Schéma rozdělení manipulačních zařízení [15]

S jednoúčelovými manipulátory se vyskytují především u obráběcích strojů. Jedná se především o automatické výměníky nástrojů/obrobků nebo dopravníky nástrojů a slouží jako prvek k automatizaci daného stroje. K víceúčelovým manipulátorům se řadí synchronní manipulátory a programovatelné manipulátory. Synchronní manipulátory jsou označovány taktéž jako teleoperátory nebo exoskeletony. Jsou řízeny obsluhou a slouží jako zesilovače při daných akcích. Poté jsou řazeny programovatelné manipulátory. Tyto manipulátory jsou vybaveny řídicí jednotkou. Jejich výhodou je právě v univerzálnosti použití. Dále je možné tyto manipulátory rozlišovat na základě toho, jestli jsou pevně ukotvené (stacionární), nebo volně pohyblivé (mobilní).

Na úkor velké rozmanitosti průmyslových robotů a jejich schopností jsou rozděleny do následujících generací [2]:

- 1) Průmyslové roboty 1. generace – Jedná se o programovatelné roboty. Jsou určeny k vykonávání pevně stanovených operací. Jejich přeprogramování je velmi jednoduché. Tato generace robotů je využívána především pro manipulační pohyby jako jsou „zdvihnout a umístit“ (pick and place).
- 2) Průmyslové roboty „1 a půl“ generace – Tyto roboty využívají jednoduché senzory a vykonávají činnosti typu „udělej a ověř“ (make and test).
- 3) Průmyslové roboty 2. generace – Jsou to roboty vybavené vnímáním. Mají více senzorů, než roboti předchozí generace a jsou opatřeny koordinačním systémem „oko - ruka“ (eye – hand). K provádění činností potřebují řídicí počítač a je pracovní program měnit nebo přepínat.
- 4) Průmyslové roboty „2 a půl“ generace – Vykonávají vnímatelně-pohybové funkce.
- 5) Průmyslové roboty 3. generace – Jsou inteligentní roboty. Na rozdíl od předchozích generací jsou obohaceny elementy umělé inteligence, která má sloužit k automatizaci jeho činnosti. Charakteristickou vlastností těchto robotů je autonomnost neboli schopnost učení a adaptace v procesu řešení úloh.

Uvedené rozdělení je pro představu, jaké skupiny robotů existují. Je možné zde vidět, že PR 3. generace mají daleko více vybavení na rozdíl od PR 1. generace. Nemělo by se ovšem stát to, že PR 1. generace naprosto vymizí. Vždy se najde pro ně uplatnění a taktéž se musí brát ohled z hlediska ekonomického. Směr rozvoje robotiky je možné vidět na následujícím obrázku, který ukazuje poměr mechanické části, elektronické části a aut. programování a programové vybavení.



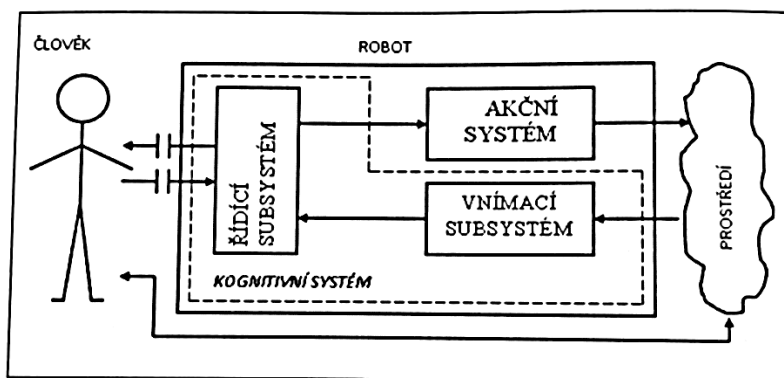
Obr. 13) Směr rozvoje robotiky [2]

Systémové pojetí průmyslového robotu

Průmyslový robot, jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, nahrazuje práci člověka ve výrobě. Člověk používá při práci ruce (manipulace s předměty), hlavu (intelektuální stránka), hmat, sluch a zrak (smysly). Vždy bylo dobré se inspirovat ve světě techniky přírodou. V tomto smyslu je koncipovaný právě i PR.

Je rozdělený na následující tři podsoustavy (subsystémy) [2]:

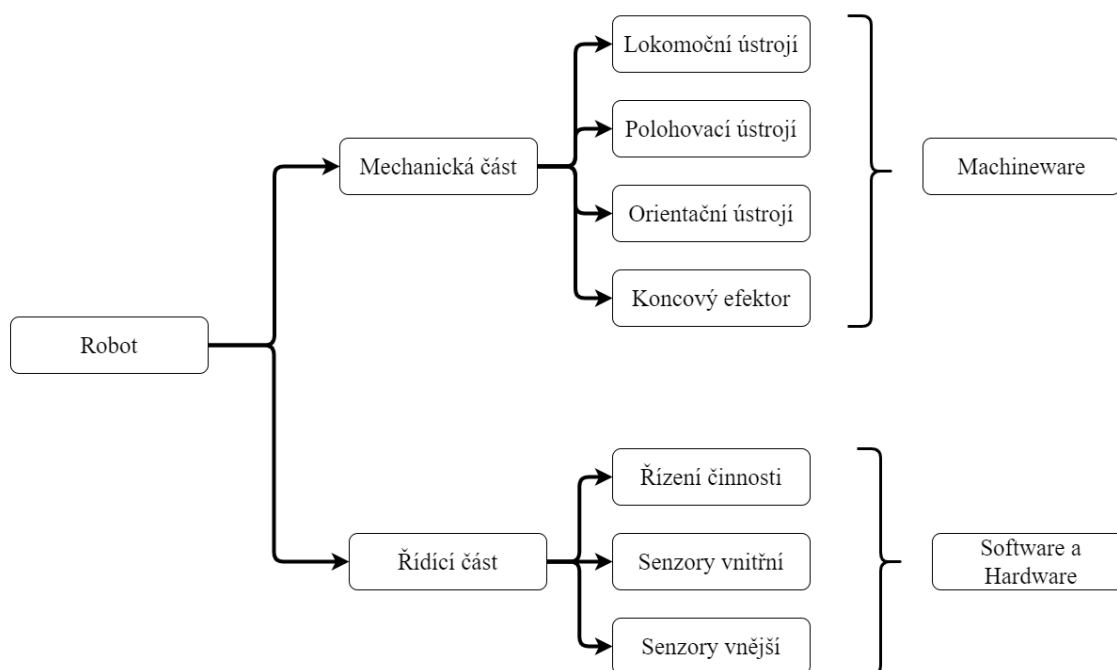
- řídicí – program („mozek“)
- senzorický (vnímací) – čidla
- mechanický (akční) – realizace činností



Obr. 14) Systémové pojetí průmyslového robotu [2]

2.2.4 Konstrukce průmyslového robotu

PR je možné z hlediska konstrukčních celků a prvků znázornit podle následujícího schématu:



Obr. 15) Schéma rozdělení PRaM na subsystémy [15]

Mechanická část, taktéž akční systém robotu, se skládá z několika binárních členů, které jsou vázány a sestaveny za sebou prostřednictvím kinematických dvojic (KD) a následným

spojením vytváří otevřený kinematický řetězec. Každé této KD přísluší jeden stupeň volnosti. U PR se používají posuvné (translační) a otočné (rotační) KD. Spojením kombinací těchto KD je docíleno výsledného pohybu robotu. Pohybují se pomocí ovladatelných motorů, které jsou umístěny v kloubech robotu. Tyto pohyby musí být velmi přesné [2].

Akční systém průmyslového robotu je rozdělen na tyto ústrojí [2]:

- lokomoční (pojezdové)
- polohovací
- orientační
- koncový efektor

2.2.5 Průmyslové roboty vhodné pro obráběcí stroj

Průmyslové roboty a manipulátory (PRaM) vnesly do sestav výrobních systémů spolu s NC a CNC výrobními stroji určitý pokrok a zvýšení produktivity ve výrobě. Velká výhoda těchto robotů je, že dokážou manipulovat i s velkým zatížením a také vykonávat svou práci s velkou přesností, rychlostí a opakovatelností. Průmyslové roboty, které se využívají u obráběcích strojů, provádějí nejčastěji výměnu obrobků, která se označuje pojmem „zdvihnout a umístit“ („pick and place“) a obsluhu daného stroje. Mohou ovšem vykonávat i doprovodné aplikace (broušení, vrtání, ...).

V dnešní době existuje spousta koncepcí, v jakých se roboty dají používat. V závislosti na požadavcích zákazníka výrobce nabídne možné řešení. Nejčastější využití v praxi je univerzální koncepce typu RRR s 6 stupni volnosti, kdy má průmyslový robot multiúhlový (angulární) pracovní prostor.

Při posuzování vhodného PRaM se pozoruje celá řada technických aspektů [2]:

- morfologie (architektura, stavba) robotu
- počet stupňů volnosti
- vlastní velikost a hmotnost
- hmotnost břemene
- dosahovaná přesnost
- rychlost pohybů
- způsob pohonů
- druh servopohonů
- způsob odměřování
- způsob a rozsah vnímání
- způsob řízení a komunikace s okolím
- autonomnost robotu

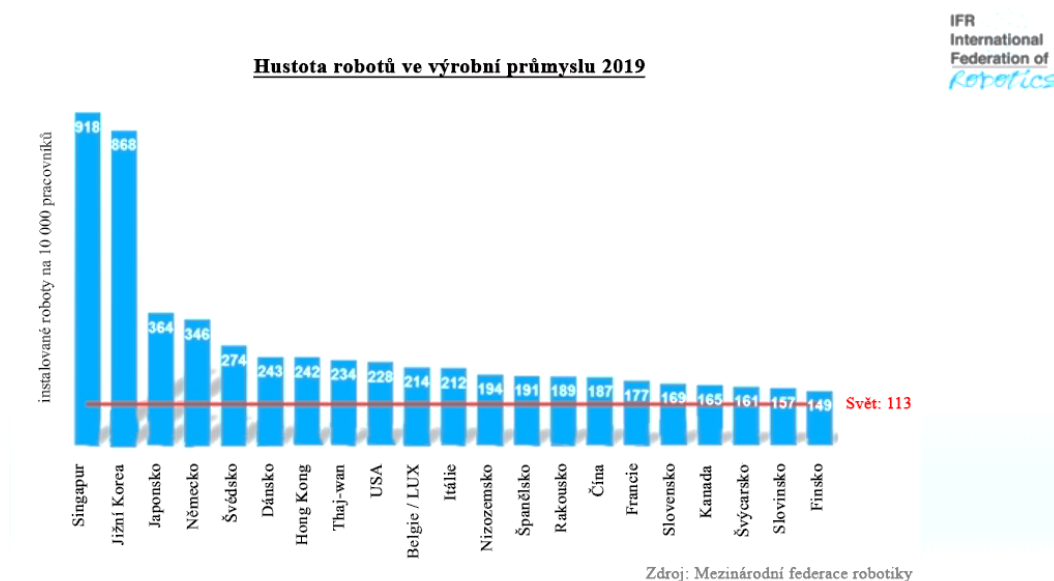
Důležitý parametr při volbě PRaM je přesnost vykonávání dané manipulační operace. Vhodná přesnost je kolem 1 mm. Pokud je vyžadována přesnější manipulace, je vhodné použít úpravu efektoru (aplikací kompenzátoru). Významnou roli také hraje ekonomická stránka. Zde se posuzuje návratnost vložených investic a ekonomiku výroby.

Volba závisí také na dalších okolnostech. Jednou z nich může být, kolik strojů má robot obsluhovat. Tyto řešení budou ukázány v kapitole zabývající se automatizací OS. Dále při provozu PR je velmi důležitá bezpečnost. Pracoviště s těmito roboty bývají ohraničeny ploty, které tvoří klec. K robotu se dá dostat pouze přes bezpečnostní dveře, kdy po jejich otevření se robot zastaví. Další možností jsou různé senzory nebo skenery, které snímají daný pracovní

prostor, který může být rozlišen na více oblastí, kdy robot v jednom případě pouze zpomalí a v případě, že se člověk dostane do bezprostřední blízkosti k robotu, robot se zastaví. Jedná se o nejrozšířenější typ, který je dnes ve firmách používán běžně. Jeho pořizovací náklady bývají sice větší, ale při správném výběru a vyhodnocení všech kritérií se může tato investice v relativně krátké době vrátit a poté už z toho může daná firma jen prosperovat. Ovšem při nesprávné volbě se může firma naopak dostat do ztrát [16].

2.2.6 Výrobci průmyslových robotů

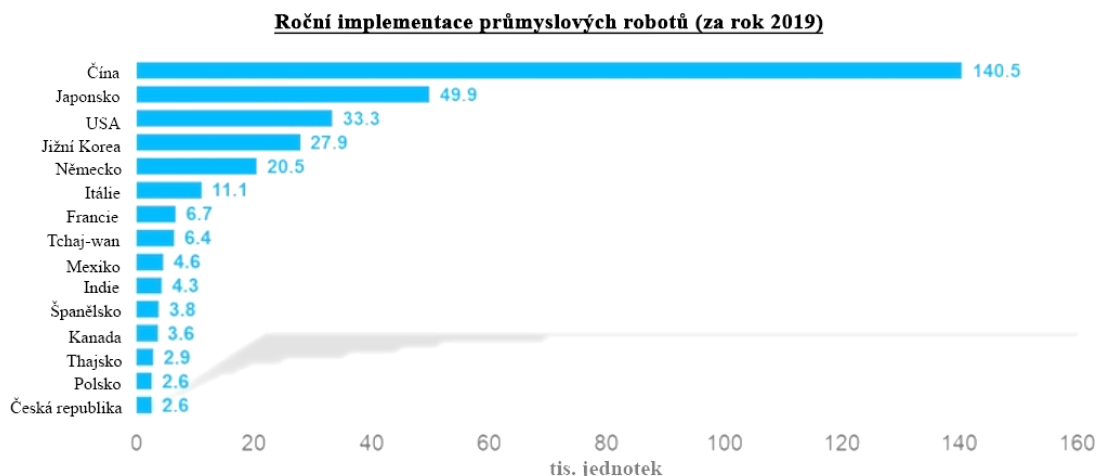
Výroba a vývoj ve světě robotiky jde neustále rychlým tempem dopředu. Mezi nejvíce automatizované země patří: Singapur, Jižní Korea, Japonsko, Německo, Dánsko, Hong Kong, Tchaj-wan, USA, Belgie a Lucembursko [18].



Obr. 16) Statistika hustoty robotů ve výrobním průmyslu (2019) (upraveno) [18]

Nejvíce automatizovanou zemí na světě je podle statistik Singapur s 918 roboty na 10 000 pracovníků, viz obr. 16). Drtivá většina robotů v této zemi je implementována do výroby mikročipů a polovodičů. Německo je potom nejvíce automatizovanou zemí v Evropě.

Z pohledu implementovaných robotů do výroby za rok 2019 se Česká republika umístila na 15. pozici s 2 600 roboty. Dominantní je Čína s 140 500 roboty, viz obr. 17).





Obr. 17) Statistika počtu implementovaných robotů za rok 2019 (upraveno) [19]

Mezi světové špičky patří výrobci: ASEA Brown Boveri (ABB), Stäubli, Midea Group (KUKA), The Fanuc Corporation (FANUC), Kawasaki Heavy Industries. Všichni tyto výrobci nabízí širokou škálu průmyslových i kolaborativních robotů. Ke každému zmíněnému výrobcí jsou uvedeny dva průmyslové roboty vhodné k obráběcímu stroji.



1. ABB – Švýcarsko

Tab. 11) Přehled parametrů PR výrobce ABB [20, 21]

	Užitečné zatížení (kg)	Maximální dosah (mm)	Opakovatelnost (mm)	Hmotnost (kg)	Způsob ukotvení	Počet os (-)
IRB 120 	3	580	$\pm 0,01$	25	Podlaha; strop; stěna; lib. úhel	6
IRB 8700 	550 800	4200 3500	$\pm 0,05 - 0,10$	4 575 4 525	Podlaha; strop	6



2. Stäubli – Švýcarsko

Tab. 12) Přehled parametrů PR výrobce Stäubli [22, 23]

	Užitečné zatížení (kg)	Maximální dosah (mm)	Opakovatelnost (mm)	Hmotnost (kg)	Způsob ukotvení	Počet os (-)
RX160 	34	1710	$\pm 0,05$	25	Podlaha; strop	6
TX200 	150	2194	$\pm 0,06$	980	Podlaha; strop	6



3. KUKA – Německo

Tab. 13) Přehled parametrů PR výrobce KUKA [24, 25]

	Užitečné zatížení (kg)	Maximální dosah (mm)	Opakovatelnost (mm)	Hmotnost (kg)	Způsob ukotvení	Počet os (-)
KR 6 R1820 	6	1820	$\pm 0,04$	168	Podlaha; strop; stěna; lib. úhel	6
KR 1000 titan 	1000	3202	$\pm 0,10$	4740	Podlaha	6




4. FANUC – Japonsko

Tab. 14) Přehled parametrů PR výrobce FANUC [26, 27]

	Užitečné zatížení (kg)	Maximální dosah (mm)	Opakovatelnost (mm)	Hmotnost (kg)	Způsob ukotvení	Počet os (-)
LR Mate 200iD 	7	717	$\pm 0,01$	25	Podlaha; strop; lib. úhel	6
M-2000iA/2300 	2300	3734	$\pm 0,18$	11000	Podlaha	6

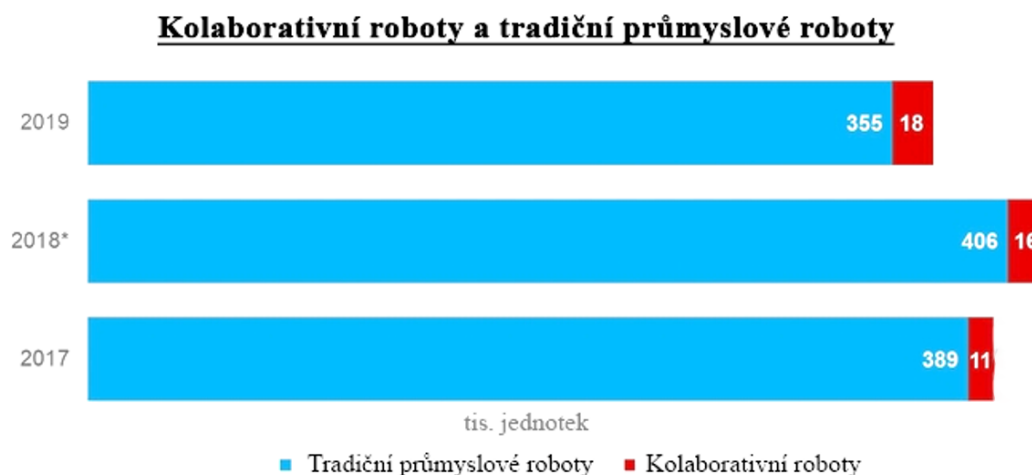
5. Kawasaki – Japonsko

Tab. 15) Přehled parametrů PR výrobce Kawasaki [28, 29, 54]

	Užitečné zatížení (kg)	Maximální dosah (mm)	Opakovatelnost (mm)	Hmotnost (kg)	Způsob ukotvení	Počet os (-)
RS013N 	13	1460	$\pm 0,03$	170	Podlaha; strop	6
MG15HL 	1500	4005	$\pm 0,1$	6550	Podlaha	6
MH5LF 	5	895	$\pm 0,03$	27	Podlaha; strop; stěna; lib. úhel	6

2.3 Kolaborativní roboty

Kolaborativní robot (spolupracující robot), taktéž označovány jako kobot, je buď počítačem řízený, nebo automatický stroj. Je řazen k průmyslovým robotům. V dnešní době mají tyto roboty podstatně menší zastoupení oproti klasickým průmyslovým robotům. Za rok 2019 to byly přibližně 4,8 % z celkových 373 000 nainstalovaných průmyslových robotů viz obr. 18) [19].



Obr. 18) Podíl kobotů a tradičních průmyslových robotů (upraveno) [19]


Koboty mají však velký potenciál využití díky jejich flexibilitě, tzn. jednoduše se dají přeprogramovat. S tím souvisí i to, že je možné je rychleji implementovat do výroby. Proto se do budoucna jejich podíl z celkově nasazených robotů ve výrobě bude zvyšovat. Tuto vlastnost ocení především menší nebo střední firmy, kde se často mění požadavky na výrobu. Nejsou určeny k úplné automatizaci výroby, ale pouze ke spolupráci s člověkem, jak již vyplývá z názvu kolaborativní – spolupracující. Využívají se v těch částech výrobního procesu, kde se jedná o neergonomickou činnost (např. hrozí poškození páteře), monotónní činnost a je vyžadovaná vysoká a stálá přesnost, ale také při ověřování jakosti.

Kolaborativní roboty pracují v bezprostřední blízkosti člověka, tudíž musí být kladen maximální důraz na bezpečnost, aby nedošlo k žádné újmě na zdraví. To je zajištěno vhodnou konstrukcí a zabudovanými snímači, které má robot v místě spojů. Tyto senzory hlídají sílu a rychlost pohybu tak, aby nepřesáhly prahovou hodnotu v případě kontaktu s člověkem a bylo riziko kolize, či zranění minimální. Výhodou oproti běžným průmyslovým robotům mají v tom, že při kontaktu s člověkem se nemusí zabezpečovat úplným pozastavením a ušetří se tím čas potřebný pro jejich opětovné nastartování. Nevýhodou kobotů je, že mohou pracovat omezenou rychlostí a mají omezenou užitečnou zátěž, se kterou mohou manipulovat. Podle mezinárodní normy, která definuje podmínky bezpečnosti z hlediska konstrukce a dalších ochranných opatření, existují dvě skupiny kolaborativních robotů. Jedná se o normu ISO 10218-1. Jedna skupina dané požadavky normy splňuje, druhá je nesplňuje, což ale neznamená, že tyto roboty nejsou akceptovatelné k implementaci do výroby. Jedná se o roboty, které splňují jiné národní nebo vnitropodnikové normy a jsou tak z hlediska bezpečnosti možné zařadit do provozu firmy [16, 17].

V roce 2021 přišla švýcarská společnost ABB na trh s novinkou, která spojuje vlastnosti kobotu a průmyslového robotu, což je snadné ovládání, vysoký bezpečnostní standard (integrovaný bezpečnostní laserový skener a software SafeMove Collaborative), rychlost (až

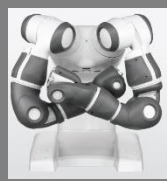
5 m/s) a přesnost. Umožňuje tak rychlou manipulaci i v blízkosti člověka. Jedná se o robot CRB 1100 (SWIFTI). [33].

Tab. 16) Přehled parametrů kobotu CRB 1100 SWIFTI [33]

	Užitečné zatížení (kg)	Maximální dosah (mm)	Opakovatelnost (mm)	Hmotnost (kg)	Způsob ukotvení	Počet os (-)	Cena (Kč)
CRB 1100 SWIFTI 	4	580	$\pm 0,01$	21	Podlaha; strop; stěna lib. úhel	6	668000


Dalším novinkou je kolaborativní robot IRB 14000 taktéž od společnosti ABB, nazývaný YuMi. Jedná se o robota s dvěma pažemi a je vhodný pro spolupráci s člověkem při montážní činnosti. YuMi má přesnost 0,02 mm a může tak manipulovat i s velmi drobnými předměty. Díky své velikosti může pracovat i na omezených místech.

Tab. 17) Přehled parametrů kobotu IRB 14000 YuMi [48]

	Užitečné zatížení (kg)	Maximální dosah (mm)	Opakovatelnost (mm)	Hmotnost (kg)	Způsob ukotvení	Počet os (-)	Cena (Kč)
IRB 14000 YuMi 	0,5 na paži	559	$\pm 0,02$	38	Podlaha; stůl	14	88200 0

Firma Universal Robots se řadí mezi světovou špičku v kolaborativních robotech. Oblíbenou řadou jsou roboty UR (3, 5, 10). Řadí se k variantám s rychlou návratností investice.

Tab. 18) Přehled parametrů kobotu UR 5 [49]

	Užitečné zatížení (kg)	Maximální dosah (mm)	Opakovatelnost (mm)	Hmotnost (kg)	Způsob ukotvení	Počet os (-)	Cena (Kč)
<div>UR 5</div> 	5	850	$\pm 0,1$	18,4	Libovolné	6	630000



Obr. 19) Kolaborativní robot obsluhující CNC OC [36]

2.4 Porovnání průmyslového robotu a kolaborativního robotu

Při nasazení robotu do výrobního procesu není možné obecně říct, který robot je lepší. Vždy to závisí na činnostech, které bude mít za úkol vykonávat. Je možné však konstatovat, pokud jde o úplnou automatizaci, má přednost průmyslový robot. V případě, že pracovník má vykonávat více úkonů při daném procesu, je na místě použít kobota, který mu ulehčí s monotónními úkony a pracovník má tak možnost využít svůj potenciál v kreativě a kritickém myšlení při jiných činnostech. Průmyslové roboty dominují oproti kobotům vyšším užitečným zatížením a rychlostí. V rámci zrealizování implementace robota do výrobního procesu jsou spolupracující roboty jednodušší variantou, protože nejsou vyžadovány téměř žádné ochranné prvky. Z hlediska programování a ovládání můžeme považovat spolupracující roboty jednodušší možností, ale je nutno podotknout, že aktuálně existují i velmi přívětivé softwary u některých průmyslových robotů. Z ekonomického hlediska se jeví právě spolupracující roboty za výhodnější investici, ale jak bylo již zmíněno, je opravdu potřeba brát v úvahu o jakou aplikaci robota jde. V případě špatně zvoleného typu robota, může být budoucí rozvoj firmy negativně ovlivněn.

3 SYSTÉMOVÝ ROZBOR ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY SPOLUPRACUJÍCÍ SOUSTAVY – OBRÁBĚCÍ STROJ – PRŮMYSLOVÝ ROBOT / KOBOT

3.1 Systémový rozbor

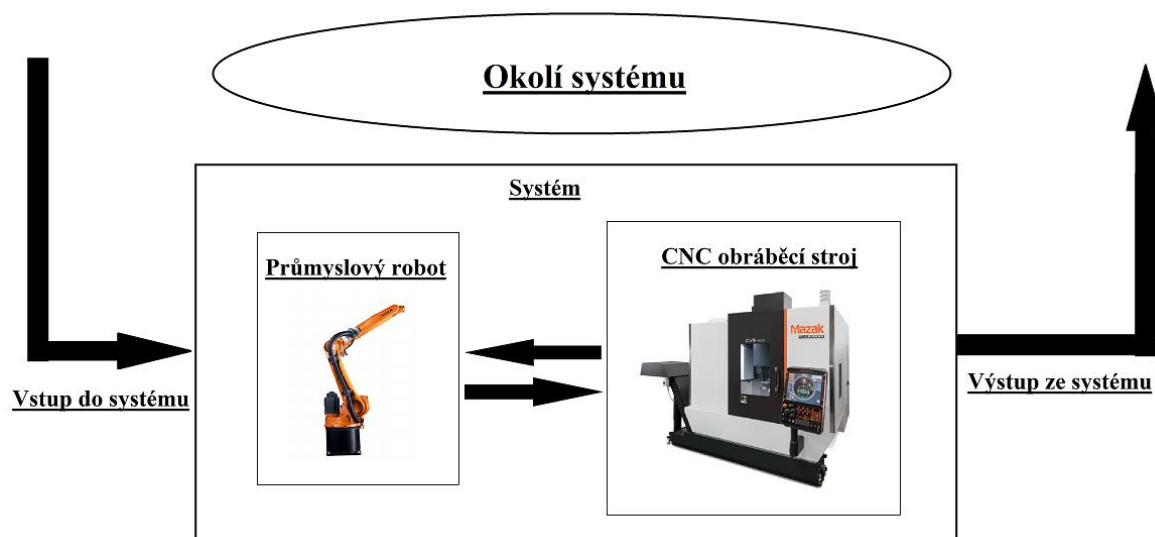
Obecně se pod pojmem systémový rozbor, taktéž systémový přístup, rozumí způsob myšlení nebo způsob řešení problému na komplexní úrovni, ve kterém hraje roli hodně proměnných. Jedná se o problém, který zahrnuje více oblastí a je téměř nemožné bez aplikace tohoto systémového přístupu nalézt optimální řešení pro daný problém. Dále je nutno podotknout, že je vhodné při využití tohoto přístupu řešit problém týmovou spoluprací, protože více jednotlivců vzdělaných v různých oblastech najdou pravděpodobně lepší řešení než samotný jedinec. Při jeho aplikaci je potřeba jasně definovat náš zkoumaný systém. Systém je chápán jako účelově definovaná množina prvků a vazeb mezi nimi, které společně určují vlastnosti celku [30]. Metoda spočívá v tom, že jsou vstupy do systému, samotný systém a výstup ze systému. Při aplikaci tohoto přístupu je dále definováno, na jaké úrovni se bude daný problém řešit. Například při pohledu na soustavu obráběcí stroj – průmyslový robot je možné se dívat na tuto soustavu jako na celek (systém), který je v interakci s okolím. Toto je pohled na nejvyšší rozlišovací úrovni. V případě přiblížení problému, tedy k těm největším detailům obráběcího stroje s průmyslovým robotem, se dá rozlišit spoustu spolupracujících subsystémů a jejich interakcí.

3.2 Systémový rozbor PR/Kobot – OS

Pro řešení problému soustavy obráběcí stroj – průmyslový robot / kobot – člověk je tento přístup vhodný aplikovat, protože zde vystupují problémy z více oblastí, které se prolínají a je potřeba brát na ně zřetel, aby bylo možné nalézt vhodné řešení.

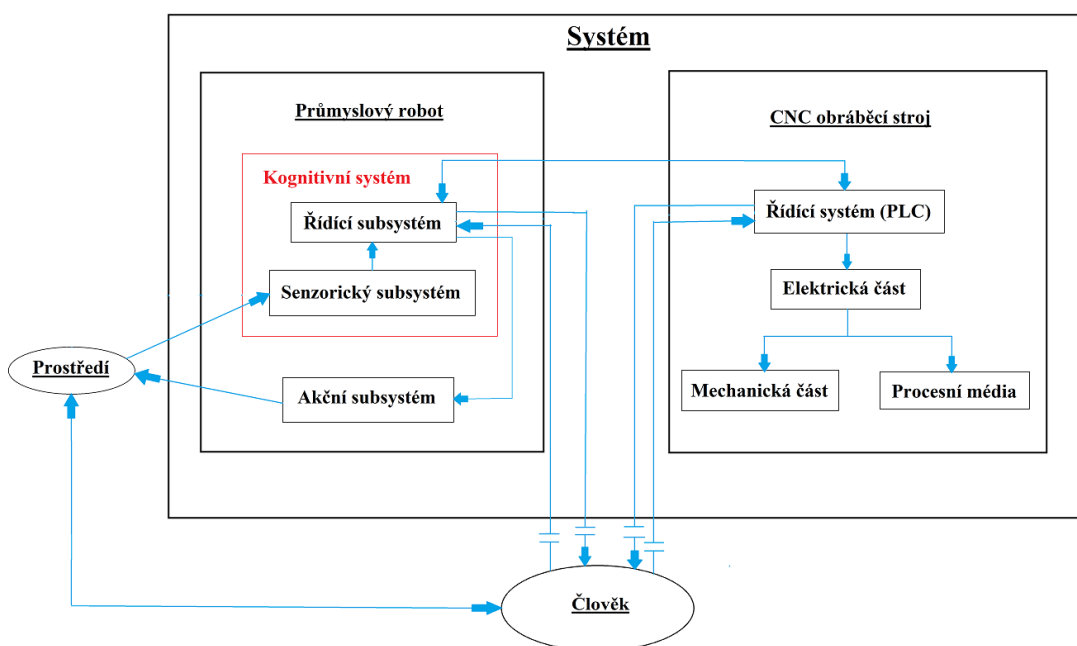
Jsou to především tyto problémy [31]:

- problém znalosti potřeb trhu a vývoje požadavků zákazníků
- technické problémy technologického procesu, který se automatizuje
- technické problémy návrhu mechanických, hydraulických, pneumatických a elektronických automatizačních prostředků využívaných pro automatizaci
- problémy technického a programového vybavení použitých počítačů
- sociální a psychologické problémy dopadu automatizace
- ekonomické aspekty automatizace
- organizační problémy při zavádění a využívání automatizace
- personální problémy spojené s výcvikem a výukou obsluhy automatizace
- stavební úpravy stávajících prostorů nebo výstavba nových prostorů souvisejících s automatizací



Obr. 20) Schéma systému PR – CNC OS základní úrovně rozlišení

Na obr. 20) je znázorněno schéma systému průmyslový robot – obráběcí stroj. Toto schéma je možné považovat za nejvyšší rozlišovací úroveň systému a dá se použít jako předloha pro popsání systému na nižší rozlišovací úrovni, viz obr. 21).



Obr. 21) Schéma systému PR – CNC OS na nižší rozlišovací úrovni

Na schématu, které je na obr. 21), je podrobněji znázorněno fungování systému obráběcího stroje a průmyslového robotu. Jak již bylo zmíněno v kapitole 2.1.2 CNC obráběcí stroj se skládá z těchto částí: elektrické, mechanické, řídicího systému (PLC) a procesních médií. Dále z kapitoly 2.2.4 je známo, že PR se skládá z těchto subsystémů: řídicího, senzorického, akčního. Můžeme vidět, že člověk zde hraje klíčovou roli, protože musí nejprve naprogramovat CNC obráběcí stroj i PR a následně je synchronizovat, aby mohl tento systém fungovat. Poté, co je vše naprogramované, se může spustit výrobní proces, kde jako vstup do systému máme nějaký polotovar, který člověk většinou připraví na definované místo (paleta,

dopravník, ...). Následně jej zaregistruje průmyslový robot pomocí senzorů, ty vysílají signál do řídicího systému PR a na úkor tohoto podnětu PR provede naprogramovaný úkon (uchopení polotovaru). V tomto momentu PR posílá signál do CNC stroje a následně umístí polotovar do vřetena stroje. Obráběcí stroj vykoná požadovaný obráběcí proces a po jeho skončení opět pomocí synchronizace s PR jej informuje o tom, že je obrobek hotov a připraven k uchopení a může pokračovat dále ve svém technologickém procesu. PR provede konečnou operaci a cyklus se opakuje. V případě kolize je celý proces systému zastaven a operátor je ihned informován o kolizi.

4 REŠERŠE ZNÁMÝCH ŘEŠENÍ AUTOMATIZACE OS

4.1 Automatizace a robotizace

Automatizací výroby se rozumí výrobní proces se zvýšenou produkcí a kvalitou výroby. Činnost člověka v přímém výrobním procesu je nahrazena příslušnými zařízeními. Automatizace nemusí být aplikována na celý proces výroby, ale může být pouze částečná. Díky tomuto procesu je možné vyrábět obrovské množství součástí nebo dokonce hotových výrobků rychle, levně a precizně. Je potřeba si uvědomit, že automatizace je mnohdy jedinou možností, jak zvýšit produkci v dané firmě, vzhledem k nedostatku pracovní síly (dělníků) v daném regionu [1]. V důsledku automatizace je poté daná firma velkým konkurentem firmě s levnou pracovní silou.

Pokud bude brán proces automatizace na úrovni samotného obráběcího stroje, rozumí se tím, že je stroj vybaven příslušnými prvky zajišťující automatizovaný proces buď z části nebo kompletně. Jedná se o prvky pro automatickou výměnu nástrojů, automatickou výměnu obrobků, řídicí systém zajišťující komunikaci mezi strojem a těmito prvky. Jestliže je ke stroji přidán průmyslový robot, jedná se o robotizaci.

Robotizace OS neboli průmyslový robot nebo manipulátor spolupracující s CNC OS, najde uplatnění především v pružných výrobních systémech, buňkách a sériových výroбах. Největší potenciál robotizace je v automatizovaných výrobních soustavách, kde jsou na sebe dané sousledné operace závislé a je tam potřeba v rámci možností nepřetržité spolupráce a konstantní rychlosti procesu. Provedení mohou být individuální v závislosti dané problematice. Náhrada člověka PR u stroje je z důvodu, jak je již zmíněno v předchozích kapitolách, z hlediska zdraví, tj. ušetření zdraví při manipulaci s obrobkem, ale především z hlediska výroby za účelem zvýšení produktivity a také kvality. Samozřejmě, že robot nemusí vykonávat pouze manipulaci s obrobkem, ale může také být použit k výměně nástrojů, nebo dokonce provádět drobné obráběcí třískové operace pomocí technologické hlavice.

Podniky přecházejí k robotizaci své firmy většinou z těchto důvodů [2]:

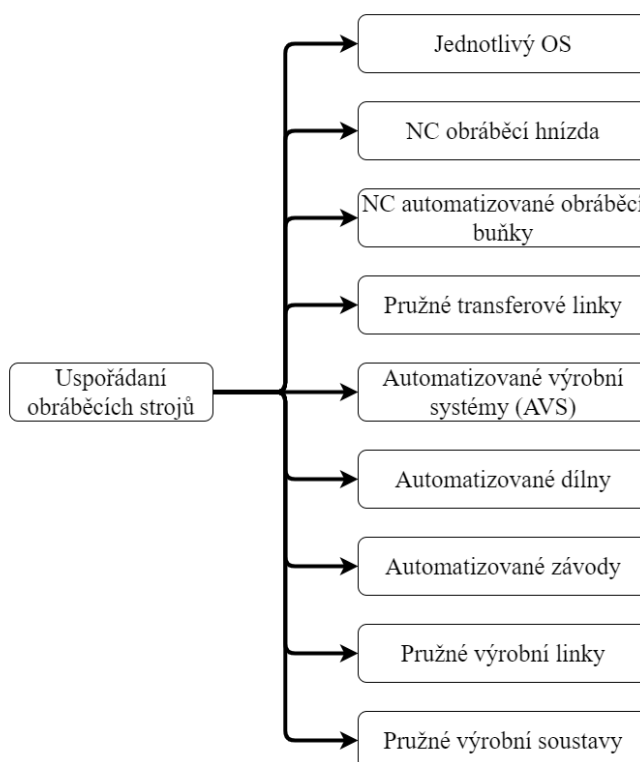
- vývoj nových technologií;
- modernizace výrobní soustavy;
- inovace výrobků;
- inovace výrobních prostředků;
- zvyšování produktivity práce;
- pokrokové řešení řízení výroby moderními metodami (CIM, CAD/CAM, ...);
- a další.

4.1.1 Robotizace v technologii obrábění

Možnosti aplikací průmyslových robotů různých struktur v této oblasti jsou stále rozmanitější. Robotizace v technologii obrábění je vhodná z důvodu, že se jedná o rozsáhlé strojírenské odvětví. Při výrobním procesu této technologie je vhodné použít PRaM k manipulačním (výměna obrobků, nástrojů, manipulace s technologickými paletami), ale také k technologickým operacím (malá bruska, vrták, fréza, ...) a vhodného periferního zařízení, čímž se zajistí především zvýšení produktivity, ale také kvality výroby. Vzhledem k dnešní době, kdy jsou i pořizovací náklady na roboty nižší ve srovnání s předchozími lety, je robotizace

mnohem příznivější i pro menší firmy a je možné se s tím setkávat stále častěji. Vývoj robotizovaných technologických pracovišť (RTP) v obrábění je zaměřen zejména na komplexní obrábění rotačních součástí soustružením, frézováním, obrábění nerotačních skříňových a plochých součástí, vrtáním, vyvrtáváním a frézováním při minimálním počtu upnutí součástky (aby se ušetřil pracovní čas a také vzhledem k přesnosti) [2]. Obecně převažuje robotizace soustružení (50 %), dále frézování a vrtání (25 %) a z menší části broušení (10 %) [2].

Jelikož existuje vícero řešení uspořádání obráběcích strojů, musí se k nim volit individuální způsob implementace PRaM a dalších zařízení k zajištění automatizace výrobního procesu. Jedná se o tyto typy uspořádání:



Obr. 22) Uspořádání obráběcích strojů

Obecně je výhodnější aplikace robotů pro obsluhu více strojů (robotizovaná/automatizovaná buňka), protože se tak sníží nároky na obsluhu, údržbu a výrazně se zvýší časová i ekonomická efektivita.

Pro oblast obrábění je zde několik vhodných řešení použití PRaM:

- roboty a manipulátory integrované do konstrukce stroje – manipulátory pro výměnu nástrojů, ...;

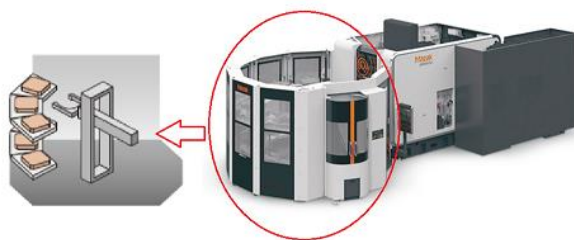


Obr. 23) Zásobník nástrojů diskový s JÚ manipulátorem [34]



Obr. 24) PR integrovaný do CNC OC [40]

- účelové manipulátory integrované s velkokapacitním zásobníkem obrobků;



Obr. 25) Zásobník palet s obrobky a manipulátorem

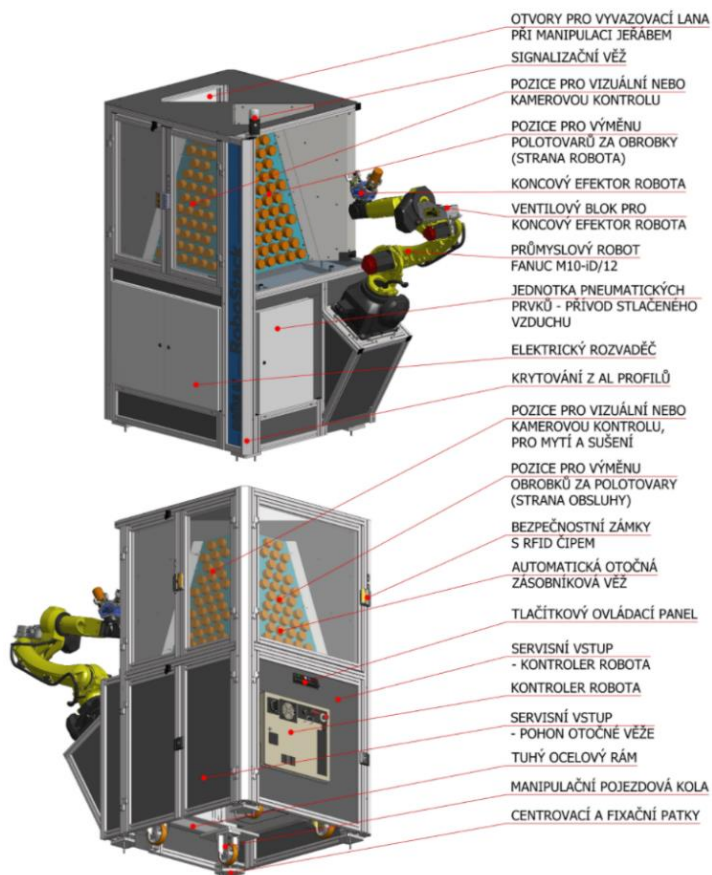
- portálové manipulátory;



Obr. 26) CNC OC a portálový manipulátor [35]

- mostové manipulátory – totéž co portálové, ale poskytují větší pracovní prostor;
- univerzální sloupové nebo stojanové roboty – jedná se o roboty stacionární, umístěné na pojezdu, nebo tzv. to go průmyslový robot (inovativní).

Stacionární PR ukotvený pevně k podlaze [37]	Průmyslový robot na pojezdu [39]	Průmyslový robot “to go” [38]
		
V blízkosti pracoviště potřeba více bezpečnostních prvků	Možnost obsluhování více seřazených CNC vedle sebe, úspora pracovního prostoru	Inovativní řešení, flexibilita, vybavení bezpečnostním skenerem, možnost práce v blízkosti člověka



Obr. 27) Detailní popis PR umístěného ve skříní (buňky) s pojezdovými koly [41]

V případě, že je obráběcí stroj vybavený zařízeními zajišťující automatizovaný chod stroje, musí tyto prvky být nastavené a naprogramované tak, aby v případě zařazení stroje do výrobní soustavy nedošlo k žádné kolizi a byl zajištěn bezproblémový chod celého systému.

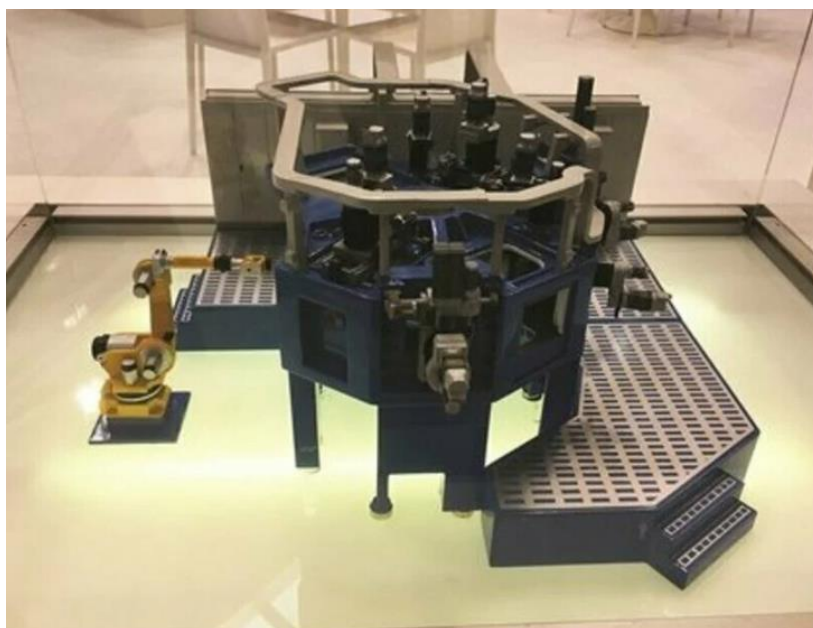
V technologii obrábění se jeví jako efektivní řešení robotizace pružné výrobní linky (PVL) a pružné výrobní soustavy (PVS) viz kapitola 4.3.2, 4.3.3. Pro tyto soustavy a linky náleží základní přístupy k realizaci [2]:

- Seskupení RTP bez přímé materiálové a informační vazby – podstatou je uspořádání vzájemně nezávislých RTP do celku se společným řešením přípravy, výroby, plánování a operativního řízení, příprava materiálu, výrobních pomůcek a technická obsluha.
- Seskupení s fixní materiálovou vazbou pracovišť – uplatňuje se ve velkosériové výrobě složitých součástí. RTP jsou řazeny podle sledu operací.
- Seskupení s pružnou vazbou pracovišť – vytváří se pomocí integrovaného systému mezioperační dopravy. Využívají se např. indukčně vedené dopravní vozíky.

4.1.2 Transferové stroje

Vhodným řešením pro automatizaci výroby může být také transferový stroj, který je charakteristickým středovým kruhovým nebo mezikruhovým otočným stolem. Může zde být použit PR pro potřebnou technologickou operaci. Transferové stroje umožňují obrábět velké množství i poměrně složitých součástí. V závislosti na její složitosti je potom zvolen počet pracovních jednotek. Tyto jednotky mohou být jednoosé, ale také víceosé. Transferové stroje je možné zakomponovat do výrobní soustavy s obráběcími centry. Značí se těmito principy [1]:

- více nástrojů v řezu;
- obrábění z více stran v jednom okamžiku;
- obrábění postupně ve více polohách;
- zvýšení stupně využití stroje;
- automatizace, robotizace, umělá inteligence.




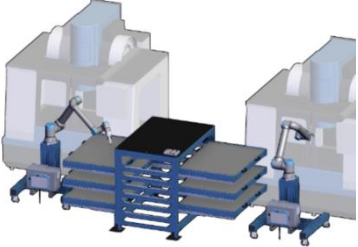



Obr. 28) Maketa transferového stroje s robotickou manipulací [32]

4.1.3 Kolaborativní robot obsluhující obráběcí stroj

Řešení obsluhy obráběcího stroje pomocí kolaborativního robotu je poměrně nová záležitost ve srovnání s klasickým průmyslovým robotem. Kolaborativní roboty jsou sice pomalejší než průmyslové roboty, ale jsou naopak bezpečnější vůči okolí (lidem nebo strojům) a díky tomu můžeme pracovat v jejich blízkosti bez větších omezení. Jsou obecně menší a snesou menší zátěž, tudíž mohou manipulovat s menšími obrobky. Taktéž se dají jednodušeji přemísťovat na jiná místa. Bývají většinou uchyceny na pojízdném stolku, nebo mohou být umístěny na kolečkách. Uplatňuje se ovšem také řešení pro pevné ukotvení na dané místo. Pro zvýšení efektivity a zrychlení výměny obrobku může být různě upraven koncový efektor robotu.

Tab. 19) Přehled řešení kolaborativního robotu a obráběcího stroje [43, 44, 45, 46]

	<ul style="list-style-type: none"> - Kolaborativní robot na mobilním stole obsluhující obráběcí centrum - Středně kapacitní zakladač se zásuvkami na obrobky
	<ul style="list-style-type: none"> - Kolaborativní robot ukotvený k podlaze (větší zatížitelnost) obsluhující frézovací obráběcí centrum - Bedna s polotovary vybavena laserem pro snadnou identifikaci polohy polotovaru
	<ul style="list-style-type: none"> - Mobilní kolaborativní robot obsluhující soustružnické obráběcí centrum - Polotovary na pojízdném vozíku - Obrobky pomocí dopravníku přepravovány dále
	<ul style="list-style-type: none"> - Dva mobilní kolaborativní roboty obsluhující dvě obráběcí centra - Společný zásobník pro obrobky se zásuvkami
	<ul style="list-style-type: none"> - Jeden kolaborativní robot na pojízdu obsluhující dvě obráběcí centra - Polotovary na pojízdném vozíku - Obrobky pomocí dopravníku přepravovány dále

4.2 Robotizované technologické pracoviště (RTP)

Jestliže k výrobnímu stroji a průmyslovému robotu nebo manipulátoru (PRaM) jsou přidány periferní zařízení, hovoříme o robotizovaném technologickém pracovišti (RTP), které vytváří celek a umožňuje tak automatizovat daný výrobní proces, tudíž se zvýší jeho efektivita, přesnost a kvalita. K řízení tohoto celku slouží centrální řídicí systém. Periferní zařízení slouží k přemísťování obrobku/výrobku na požadované pozice, k jeho polohování. PRaM zajišťuje manipulaci s obrobkem/výrobkem, případně drobné technologické operace a má tak zajistit automatickou vazbu mezi danými subsystemy. U PRaM hraje důležitou roli přesnost manipulace a opakovatelnost. Výrobní stroj provádí požadované technologické operace. Jestliže se sestaví více RTP dohromady, je tak vytvořena robotizovaná výrobní soustava (RVS), kterou lze aplikovat do větších výrobních procesů.

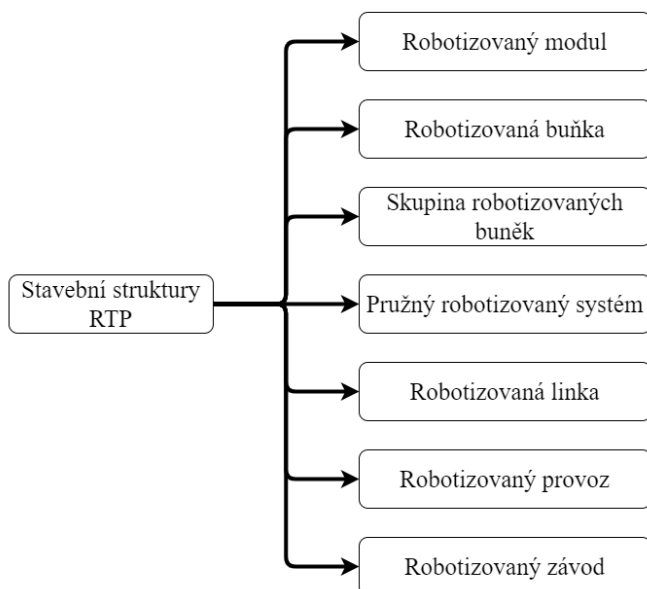
4.2.1 Návrh RTP

Navrhování RTP je velmi komplexní proces, kde musíme zohlednit jak technickou, tak i ekonomickou stránku. Jedná se tak o interdisciplinární problém, na kterém se musí podílet odborníci z různých odvětví. Při navrhování se postupuje systematicky a vždy je pro konkrétní projekt několik možných řešení. Nejprve je zapotřebí porozumění problematice konkrétní technologie a až poté se řeší samotný návrh daného RTP. Také se vyžaduje dobré porozumění samotné problematice robotizace, aby bylo možné navrhnout inovativní řešení RTP. Na základě daného technologického procesu jsou vybrány vhodné obráběcí stroje, PRaM a periferní zařízení a vytváří se tak možné konfigurace těchto zařízení. Po vyhodnocení všech možných řešení se vybere jedno vhodné, které se jeví jako optimální z pohledu využívání všech zdrojů, prostředků a pracovních sil. Celý výrobní proces je navržen tak, aby zajistil maximální zisk a zároveň uspokojil zákazníka (brzký termín dodání, jakost výrobku, ...) [2].

Uspořádání strojů a zařízení v RTP je voleno tak, aby řešení bylo co nejjednodušší a zároveň co nejúčinnější. Je vhodné brát ohled, aby manipulace s materiálem, nástroji a odpadem byla jednoduchá a hospodárná, aby byla výroba co nejjednodušší, dále je potřeba zvolit vhodné pracovní prostředí a zajištění bezpečnosti práce a v poslední řadě, aby byl dobrý přístup k jednotlivým zařízením a strojům v případě kontroly a údržby [2].

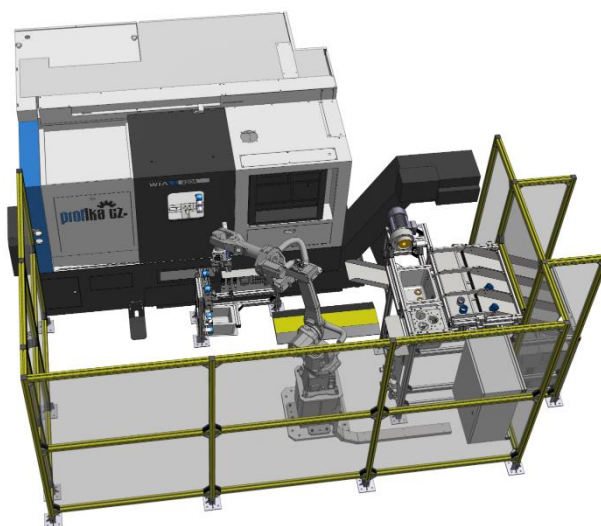
4.2.2 Typy RTP

Pokud bude považováno RTP jako celek, můžeme řešit vhodné začlenění do výrobního systému. V závislosti na stupni automatizace systému se může jednat o robotizované pouze jedno pracoviště, nebo celou firmu. Z hlediska stavební struktury RTP jsou rozlišovány tyto typy [2]:



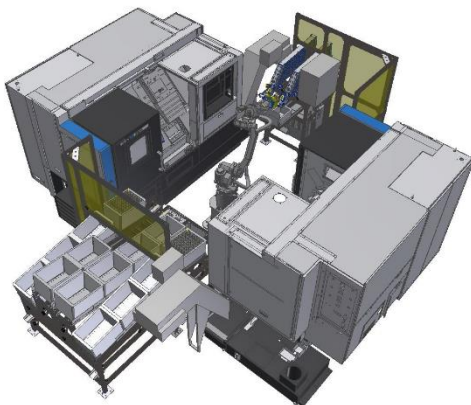
Obr. 29) Stavební struktury RTP

Robotizovaný modul je základním konceptem RTP, u kterého je zajištěný automatizovaný proces. Jedná se o pracoviště s jedním PR nebo manipulátorem, jedním výrobním strojem a periferním zařízením.



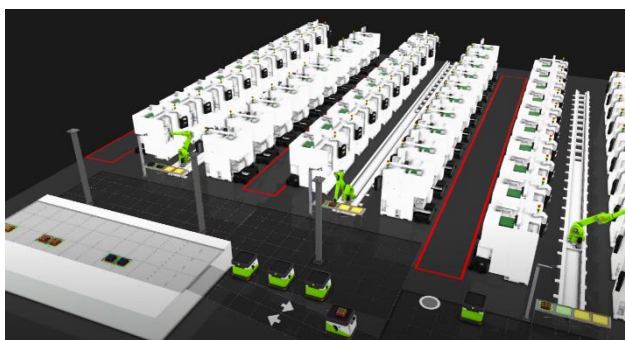
Obr. 30) Robotizovaný modul [41]

Robotizovanou buňkou je myšleno pracoviště s jedním PR nebo manipulátorem, který obsluhuje více výrobních strojů. Je zde ovšem také periferní zařízení pro příslušné manipulace.



Obr. 31) Robotizovaná buňka [41]

Skupinou robotizovaných buněk jsou buňky nebo moduly podobného typu, tudíž provádí stejné operace. Tok materiálu je řešen pomocí mezioperační dopravy, která je řízena centrálně [2].



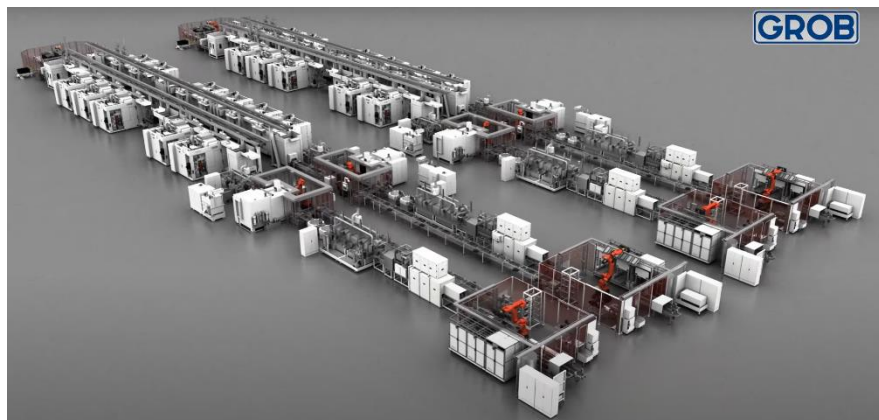
Obr. 32) Skupina robotizovaných buněk, včetně ADV [50]

Pružné robotizované systémy vzniknou seskupením několika modulů nebo buněk s rozdílnými výrobními funkcemi a mohou tak poskytovat různé technologické operace [2].



Obr. 33) Pružný robotizovaný systém [51]

Robotizované linky je možné chápat stejně jako uskupení více modulů nebo buněk, s tím, že jednotlivé buňky nebo moduly jsou na sebe více závislé z technologického hlediska. Moduly a buňky jsou propojeny dopravním systémem [2].



Obr. 34) Robotizovaná výrobní linka [42]

Navržených robotizovaných výrobních struktur je celá řada, a ne vždy dané navržené pracoviště musí být považováno za finální fázi. Může se v průběhu dále konfigurovat a vylepšovat. To je jejich výhoda [2]. Dále je vhodné zmínit, že z hlediska pohybových vlastností PRaM (stacionární, mobilní) jsou možné další konfigurace daného pracoviště.

4.2.3 Řízení RTP

Řízení RTP většinou zajišťuje člověk pomocí centrální řídicí jednotky (řídicího systému). V současnosti se vývoj řízení dostává do fáze, kdy se začíná implementovat a testovat umělá inteligence právě pro řízení procesu. Výroba se začíná více digitalizovat. Toto řešení zjednodušuje proces řízení, tím, že by se zadaly pouze požadované cíle a odhadovaný postup, jak jich docílit a nemusel se provádět celý proces programování [2].

4.2.4 RTP a manipulace s materiálem

Manipulace s materiálem (obrobky, odpad) je nedílnou složkou, kterou je potřeba brát v potaz při navrhování RTP. Tato funkce je zajišťována periferními zařízeními. Většinou bývají vybaveny dalšími prvky (senzory, dorazy, ...) pro jejich správnou funkci. Je také potřeba brát ohled na bezpečnost, takže se nesmí opomenout bezpečnostní prvky, aby se předešlo kolizi s okolím. Jsou nezbytnou částí pro plně automatizované RTP. Vzhledem k široké škále periferních zařízení je možné je rozdělit do těchto skupin [2]:

- podle funkce – týká se objektu, jakým smyslem je s ním manipulováno, tzn. změna polohy, změna orientace nebo jejich kombinace;
- podle konstrukce – dopravníky, otočné stoly, bezpečnostní periferní zařízení, manipulační a technologické efekторы, atd.;
- podle umístění v RTP – vstupní, výstupní zařízení (tvoří rozhraní mezi mezioperační a operační manipulací).

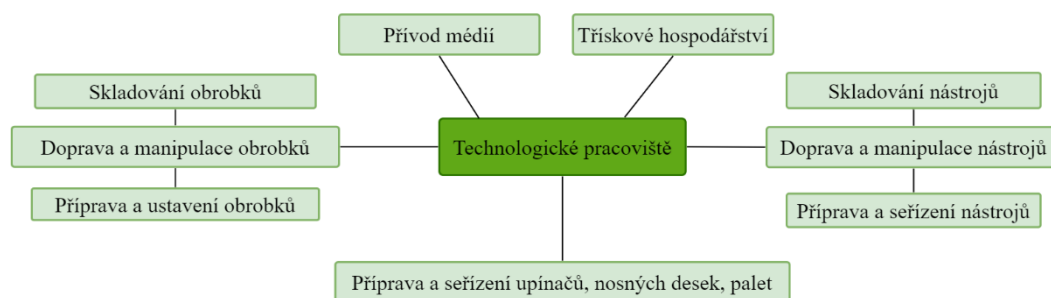
Cílem je potom jednoduchost konstrukce, zkrátit manipulační časy a také zvolit optimální variantu z hlediska pořizovací ceny.

4.3 Automatizovaná výrobní soustava (AVS)

Obecně dříve bylo běžné, že při velkosériové výrobě se vyráběl delší období stejný produkt a nebylo tak nutno mít příliš pružnou výrobu ve smyslu rychlé změny výrobního programu a nebyly potřeba provádět velké změny ve výrobě. Dnes se trend poněkud změnil a je kladen důraz především na pružnost výroby neboli jednoduché přizpůsobení měnícím se požadavkům zákazníka, ale také na různé poruchy systému a zvládnout tyto požadavky a chyby řešit v relativně krátkém čase. Ovšem je nutno podotknout, že je to řečeno z obecného hlediska. Není tedy podmínkou, aby byla výroba co nejvíce pružná. Je možné se i dnes setkat s tvrdou automatickou linkou, což závisí na aspektech, kterými jsou: počet kusů za rok, složitost výrobku, variabilita výrobku (rozměrová rozmanitost), a další. Právě automatizace je považována za jednu z cest, jak se může daná firma udržet na světovém trhu. Obecně se v dnešní době přechází od dílčí automatizace k úplné automatizaci výroby, zavádí se více informačních technologií do výroby a vyvíjí se nové výrobní principy [1].

AVS je tvořena z více technologických pracovišť tvořících soustavu, hmotné i informační toky jsou automatizovány, a celé je to řízeno centrálně bez nutnosti lidské obsluhy uvnitř procesu. AVS se vyznačuje řízeným výrobním procesem pro výrobu různých součástí nebo výrobků podle daných možností soustavy a podle předem určeného plánu. K nasazení AVS se výrobní závod uchyluje kvůli zajištění vyšší produkce, nižším výrobním nákladům a stabilní jakosti výroby. Ovšem v případě hladkého chodu AVS je nutno počítat s potřebou zaměstnanců různých profesí. Ekonomické posouzení, jaký typ výroby a výrobního zařízení použít, musí být součástí každého projektu, aby byly optimalizovány pořizovací náklady. Pro toto posouzení se používá tzv. ekonomická bilance. Pokud se jedná o AVS, pořizovací náklady bývají opravdu vysoké [1].

V dnešní době jsou AVS založeny především na CNC obráběcích centrech a jednoprofesních strojích (CNC OS). Mohou se ovšem uplatnit i jednoúčelové stroje (JÚS). U AVS musíme brát ohled na požadavky z hlediska pružnosti výroby, manipulace a dopravy, abychom mohli optimálně zrealizovat tuto soustavu [1].



Obr. 35) Schéma AVS (upraveno) [1]

Aplikaci a vývoj automatizace můžeme pozorovat ve třech etapách [1]:

1. etapa – stavebnicová soustava všech typů OS s různým stupněm automatizace
2. etapa – vyšší úroveň automatizace ve formě pružných výrobních buněk (PVB), pružných výrobních soustav (PVS), pružných výrobních linek (PVL) a tvrdých automatických linek (TAL)
3. etapa – AVS (automatizované výrobní soustavy) na úrovni dílny, provozu nebo závodu

Různé typy linek mohou být kombinovány, např. linka pro rotační a linka pro nerotační součásti v rámci jedné firmy a jsou spojeny mezioperační a mezisoustavovou dopravou. AVS, která dokáže rychle reagovat na poptávku na trhu se nazývá agilní výrobní systém. Jedná se o AVS, která kombinuje tvrdou automatickou linku s pružnou výrobní soustavou. Zvýší se zástavbová plocha i náklady na realizaci, ale zároveň se zvedne její produktivita. Při plánování je potřeba promyslet a vyhodnotit všechny detaily [1].

V případě buněk, soustav i linek je potřeba sledovat a analyzovat proces a následně podle toho dále optimalizovat výrobu a jednotlivé podsoustavy. Z globálního pohledu se sleduje, zda je plněn plán produkce, vytiženost strojů a chybová hlášení. Stroje se diagnostikují, informační moduly hlídají údržbu strojů, a také se hlídá a zároveň optimalizuje spotřeba el. energie [1].

4.3.1 Pružné výrobní buňky (PVB)

Jsou taktéž nazývané jako robotizované pracoviště. Skládají se z jednoho nebo více technologických pracovišť (obráběcích center). Manipulace mezi stroji je zajištěna pomocí průmyslového robotu nebo manipulátoru a je automatizovaná. V případě přepravování obrobku na větší vzdálenosti je možno použít PR na pojezdu nebo dopravník [1].

4.3.2 Pružné výrobní linky (PVL)

Pružné výrobní linky nejsou jednoznačně definované, jak by měly vypadat. Jsou zde možné různé varianty. Důležitostí je z názvu slovo “linka”. Jedná se o AVS s velkou produkcí identických kusů. To se zajišťuje pomocí několika identických strojů, které budou vykonávat stejnou operaci. Většinou se klade důraz, aby tyto stroje měly co nejmenší zástavbové rozměry vzhledem k úspoře plochy. Stroje mohou být uspořádány paralelně, sériově nebo kombinovaně. Obvykle se v PVL obrábí jeden typ součásti v různých modifikacích a velikostech [1].

4.3.3 Pružná výrobní soustava (PVS)

Pružná výrobní soustava se uplatňuje pro velkosériovou výrobu pro převážně jednotné součásti. Je tvořena více technologickými pracovišti a je schopna kompletního obrobění obrobku. Průchod materiálu výrobní soustavou je zajištěn pomocí průmyslového robotu (u rotačních součástí) nebo manipulátorů technologických palet (u nerotačních součástí). Mezioperační manipulace je prováděna pomocí portálových manipulátorů, kolejových dopravníků, atd. [1].



Obr. 36) Pružná výrobní soustava využívající automatické dopravní vozíky (ADV) [47]

Jednotlivé typy AVS jsou velmi podobné, vzhledem k různým výrobcům, je mnohdy těžké určit o jaký konkrétní typ AVS se může jednat, protože názvosloví se může jednotlivými výrobci lišit. Hlavní znaky, jak to rozeznat jsou [1]:

- typy nasazených strojů;
- uspořádání soustavy;
- stupeň automatizace;
- typ manipulačního systému;
- způsob kontroly měření a jakosti výroby;
- řízení soustavy.

4.3.4 Computer integrated manufacturing (CIM)

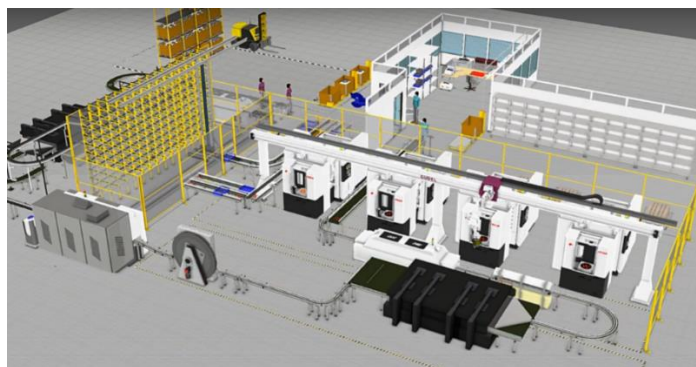
Aby se jednalo o plnohodnotnou funkční AVS, automatizaci technologických procesů nelze zúžit pouze na vlastní stroj. S tímto procesem jsou spjaté i další prvky, které musí být zautomatizované, jako je doprava, manipulace s materiálem, kontrola a měření atd. Vývoj AVS směřuje k tzv. CIM (Computer Integrated Manufacturing). Jedná se o počítačem integrovanou výrobu. Znamená to, že se celá výroba propojí pomocí informačních technologií. Celý tento proces využívá jednu společnou databázi. Tato metoda tak může být velmi efektivní díky vzájemné komunikaci počítačů a jednotlivých prvků výrobní soustavy, analyzování dat, jejich optimalizaci a také analýze možných rizik [1].

4.3.5 Technologické trendy a Průmysl 4.0

S inovací firem souvisí i tzv. digitální transformace. Tento trend je nazýván Průmysl 4.0. V oblasti moderních podniků se řeší právě tyto témata [1]:

- vznik nekonvenčních organizačních struktur a řízení podniků
- digitální transformace (1) – IT transformace, bezpečnostní transformace, vzdálená správa, dohled a údržba;
- digitální transformace (2) – digitální dvojče produktu, výrobního procesu, celé firmy;
- vývoj klíčových softwarů.

Dalším technologickým trendem je předem vytvořený model výrobní soustavy (digitální továrny) pomocí simulačního programu. To umožní optimalizovat proces ještě před jeho realizací. Mohou se tak porovnat různé koncepce návrhu. Tento způsob přípravy projektu zároveň ušetří spoustu času a umožní tak jeho realizaci mnohem rychleji a může se díky tomu předejít zbytečným komplikacím [1].



Obr. 37) Digitální továrna [52]

4.4 Shrnutí a přehled řešení robotizace OS

Řešení pro robotizaci jednotlivých OS a celých soustav je nepřehledné množství, navrhování závisí vždy na specifických parametrech dané výroby. Při návrhu se postupuje systematicky, aby se zamezilo v co největší míře problémům při dalších fázích realizace.

Významným tématem k řešení této problematiky je digitalizace, kdy pomocí softwarů je cílem zajistit zabezpečení, diagnostiku výroby a pomocí umělé inteligence bylo následné řízení a nastavování pro programátora co nejjednodušší. Taktéž je možné předem vytvořit pomocí příslušného softwaru tzv. digitální dvojče a optimalizovat tak jednotlivé parametry ještě před realizací daného projektu.

Co se týká využívajících PRaM u obráběcích strojů pro jejich automatizaci, dosud převažují jednoúčelové manipulátory pro automatickou výměnu nástrojů, méně časté je využití jednoúčelových manipulátorů pro automatickou výměnu obrobků. Na třetí místo se řadí klasické průmyslové roboty a nejmenší zastoupení mají kolaborativní roboty. Robotika ale zažívá v posledních letech velký rozmach a díky tomu se průmyslové roboty i kolaborativní roboty stávají dostupnějšími a tento rozdíl tak v následujících letech bude s velkou pravděpodobností klesat.

Před tím, než se rozhodne daný podnik pro investici do automatizace firmy pomocí průmyslového robotu, je vhodné si shrnout a vyhodnotit všechny důležité kritéria, jestli se investované prostředky v budoucnu vrátí a popřípadě za jak dlouho se vrátí. Je potřeba brát ohled na velikost firmy. Implementace průmyslových robotů se vyplatí pro střední nebo velké firmy. Dále je potřeba mít promyšleno, jestli je potřeba automatizovat jen část výroby, nebo celou firmu a podle toho potom zvolení vhodných typů robotů a jejich množství. Je potřeba brát také v úvahu, že pro automatizaci výroby je nezbytné mít dostatečně vybavené výrobní stroje, aby bylo možné danou automatizaci realizovat, tím se rozumí stroje, které budou dostatečně vybavené pro spolupráci s průmyslovými roboty. Po vyhodnocení všech těchto kritérií se vyvodí závěr, jestli návrh robotizace je vhodný, či nikoliv a zůstane se tak u stávajícího řešení.

5 NÁVRH ROBOTIZACE OS

5.1 Návrh robotizace OS

V návaznosti na již provedený popis současného stavu CNC obráběcí techniky a průmyslových robotů (včetně kolaborativních), vhodných pro použití u obráběcích strojů, dále na stručnou rešerši doposud známých řešení (tj. stávajících, dlouhodobě používaných a zejména osvědčených) a nalezení nových, pokrokových způsobů zajištění aplikace automatizace obráběcích strojů pomocí průmyslových robotů, jakož i na systémový rozbor řešené problematiky ve smyslu vzájemně v interakci spolupracující soustavy obráběcí stroj–robot–(člověk), lze uvažovat i nad tím, jak nabídnout vlastníkům a provozovatelům obráběcích center inovaci výrobního procesu, zaměřeného na robotizaci. V podstatě jde o to, jak vhodně oslovit vedoucí technické a ekonomické pracovníky ve strojírenských podnicích, kteří uvažují s jejich doplněním stávající výroby součástek na CNC obráběcích centrech o roboty, které by vstupovaly do přísně sledovaného procesu.

V této souvislosti je nutné upozornit i na skutečnost, že průmyslový robot není určen pouze pro manipulaci s obrobkem, ale může kolaborovat i při výměně nástrojů ze zásobníku do vřetene a naopak nebo dokonce vstupovat do pracovního prostoru OC se svým koncovým efektem (vyjmutým ze zásobníku KE) v podobě malého vřetene, vhodného svými parametry na vhodnou dokončovací operaci v rámci technologického postupu konkrétní obráběné součástky, například vrtání děr kolmo na osu rotace obrobku nebo srážení hran a podobně.

Smyslem této podkapitoly je pokus o nalezení souvislostí při vývoji robotické opce u CNC obráběcího stroje (centra, OC). Ty souvislosti by měly být uvažovány vzhledem ke třem funkcím robotu nasazeného u CNC obráběcích strojů, kterými jsou:

1. Automatická výměna nástrojů u CNC OC a koncových efektorů u PR
2. Automatická výměna obrobků u OC
3. Robotické třískové obrábění v rámci provozu OC

Níže je uveden rámcový postup, jak z hledisek technických a provozních dát podnět k zamyšlení a stručný návod na uplatnění průmyslového robotu u stroje.

1. Zhodnocení technických parametrů a technologických vlastností CNC OC stroje
2. Zhodnocení téhož u průmyslového robotu
3. Zhodnocení vyráběné součásti z hlediska její technologie výroby a možnosti robotizace procesu, se zaměřením na její tvar, rozměry, materiál, úchylky tvaru a polohy a počet vyráběných kusů
4. Možnosti nasazení robotu v technologii obrábění buď jako prostředek manipulace s obrobkem, nebo nástrojem, nebo jako výrobní prostředek
5. Vypracování studie proveditelnosti
6. Zhodnocení z hlediska času
7. Ekonomické zhodnocení na téma, „Vyplatí se to? Jako jsou benefity?“ neboli provedení výpočtu s kritériálním vzorcem o návratu vložených investičních prostředků

V této kapitole tedy bude uveden popis toho, jak by mohl vypadat návrh volby vhodného průmyslového robotu k obráběcímu stroji pro případ, že by se firma rozhodla automatizovat příslušný výrobní proces. Pro takový návrh je zapotřebí vyhodnotit vybrané důležité technické parametry a technologické možnosti u obráběcího stroje, dále u vyráběné součásti

a průmyslového robotu a z toho vyhodnotit vyhovující řešení. V závěru studie je nutné vyhodnotit návrh robotizace procesů u CNC OC z hlediska úspory času pracovního cyklu a také z ekonomického hlediska.

5.1.1 Zhodnocení technických parametrů a technologických vlastností OS

Nejprve je nutné zanalyzovat podstatné technické parametry a technologické vlastnosti daného obráběcího stroje. Jedná se jak o celkové rozměry stroje, tak o rozměry pracovního prostoru a jaký je k němu přístup. Dále je důležité, jestli se jedná soustružnické CNC OC nebo frézovací CNC OC a s tím související jak tvar a velikost stolu nebo vřetene, tak technologické vlastnosti, pro jaké typy obrobků je příslušný obráběcí stroj vhodný. O jaký typ vřetene (horizontální, vertikální, univerzální), jeho technické parametry a počet vřeten se jedná. S tím souvisí maximální zatížení (hmotnost obrobku) stolu/vřetene. Dalším důležitým technickým parametrem je počet řízených os. Je také nutno se dívat na to, jaký má daný obráběcí stroj řídicí systém, aby bylo možné zajistit synchronizaci s průmyslovým robotem a jestli má integrované jednoúčelové manipulátory (AVO, AVN). V závěru se dá hodnotit produktivita stroje (strojní a vedlejší čas) a kvalita práce stroje, kdy vedlejší časy závisí na kvalitě automatické výměny nástrojů a manipulací s obrobky a strojní čas na otáčkách vřetene a rychlostech posuvů.

5.1.2 Zhodnocení technických parametrů a technologických vlastností PR

Při volbě vhodného průmyslového robotu je potřeba taktéž vyhodnotit jeho technické parametry a technologické vlastnosti, ale také jeho pořizovací cenu. Základním znakem je kinematická struktura. V případě obsluhování CNC OC se jedná převážně o průmyslové roboty typu RRR s 6 stupni volnosti a angulárním pracovním prostorem. Vzhledem k velikosti pracovní plochy a způsobu ukotvení (pevně do podlahy, na konzolu, na stůl, na pojezd, „to go“, ke stropu) je nutné brát ohled na rozměry a hmotnost robotu. S tím souvisí jeho maximální dosah a užitečné zatížení. Dále klíčovými parametry jsou rychlost pohybu, opakovatelnost a přesnost a stupeň ochrany (nutné bezpečnostní prvky na pracovišti). Důležitý je i typ řídicího systému průmyslového robotu. Z hlediska technologického je poté potřeba vyhodnotit možnosti operací, které průmyslový robot bude moci vykonávat (manipulační, technologické – broušení, srážení hran, vrtání děr, ...).

5.1.3 Zhodnocení vyráběné součásti z hlediska technologie a možnosti robotizace procesu

Samotný technologický proces se odvíjí od obráběné součástky a sériovosti dané výroby. Tím je myšlen typ součástky (rotační, nerotační, plochá prizmatická, skříňová prizmatická, ...), velikost a hmotnost. S tím souvisí způsob upnutí a také počet obrobků v jednom pracovním cyklu.

5.1.4 Možnosti nasazení robotu v technologii obrábění

Vyvození vhodných úkonů průmyslového robotu pro daný proces.

5.1.5 Studie proveditelnosti

Jedná se o návrh možných uspořádání průmyslového robotu, obráběcího stroje (zda bude PR integrovaný do stroje, ukotven v podlaze, ve stropě, nebo na pojezdu) a tomu odpovídajících potřebných bezpečnostních prvků a periferních zařízení. Dále také další potřebné prvky pro zajištění automatizace a optimalizace procesu. Výpočty týkající se pracovních časů (strojní a vedlejší) stroje a průmyslového robotu při manipulaci s obrobkem (určení maximálních manipulačních rychlostí, dosahu s daným obrobkem). V případě sofistikovanějších projektů

využití simulace procesu pomocí příslušného softwaru (vytvoření digitálního dvojčete) a následná optimalizace.

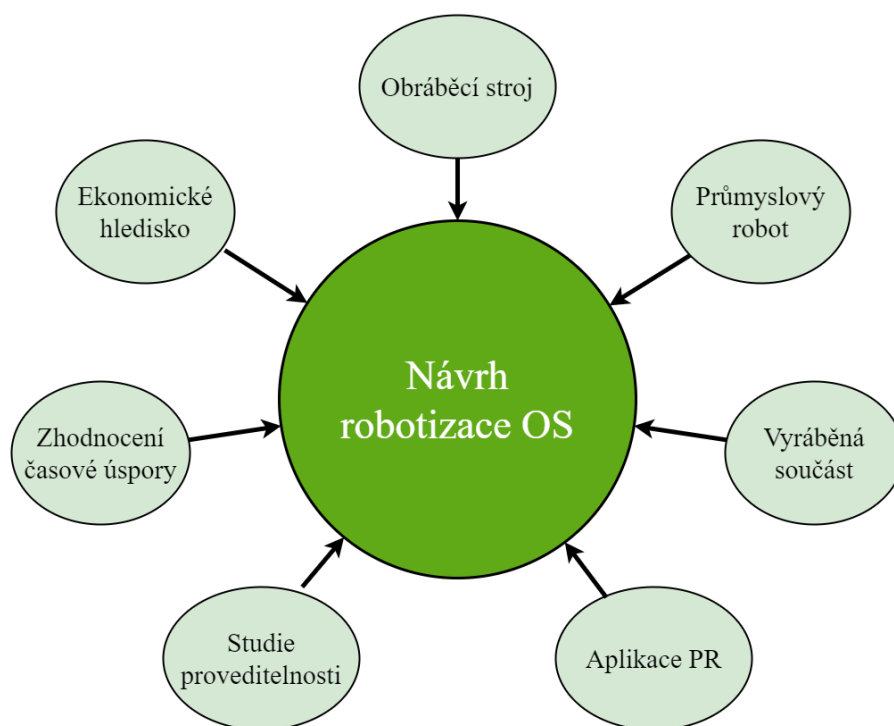
5.1.6 Zhodnocení z hlediska času pracovního cyklu

Nezbytnou součástí analýzy navrženého robotizovaného pracoviště je i kritické zhodnocení časů pracovního cyklu, zda je se jeví nově navržené řešení jako efektivnější v porovnání se stávajícím řešením (člověk jako obsluha OS).

5.1.7 Zhodnocení z ekonomického hlediska

Lze tvrdit, že primárním účelem robotizace procesů o obráběcích strojů je zejména snížení nákladů na výrobu a zvýšení produktivity výroby součástek, vznikajících třískovým obráběním. K tomu, aby se zjistilo, zda se tato investice vyplatí, či nikoliv, se používá kritériální vzorec zahrnující veškeré současné náklady na provoz stávajícího pracoviště s OC a celkové náklady na nové pracoviště s OC a robotem. Po potřebném výpočtu je zjištění doby návratnosti (roky). Vzhledem k tomu, že mzdy zaměstnanců se čas od času zvyšují a pořizovací ceny robotů se naopak snižují, i prostou úvahou se jeví řešení zavádět roboty do výroby jako ekonomicky výhodné. Níže je uveden základní vztah, uvádějící dobu návratnosti.

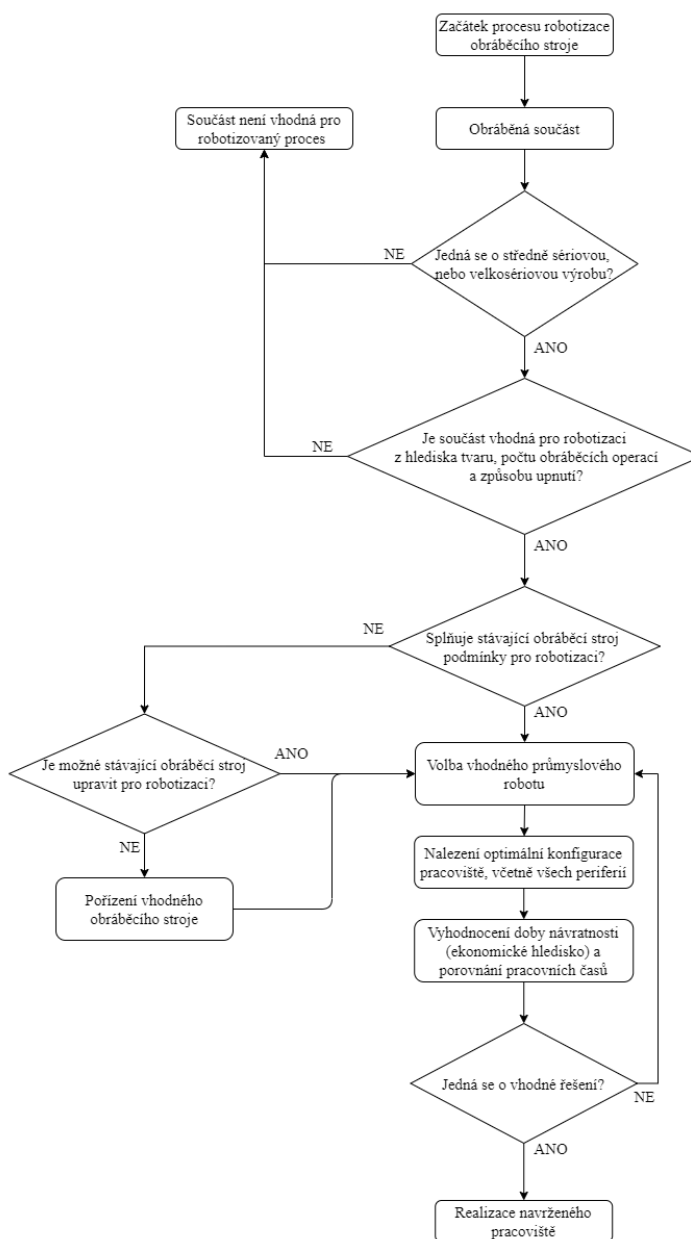
$$\text{Doba návratnosti (roky)} = \frac{\text{Celkové náklady na robotizované pracoviště}}{\text{Současné celkové náklady na provoz pracoviště}}$$



Obr. 38) Rámcové schéma návrhu robotizace CNC OC ve firmě

5.2 Blokové schéma návrhu robotizace CNC OC ve firmě

V případě, že se firma rozhodne implementovat průmyslového robota k CNC OC, je vhodné postupovat systematicky, jak již bylo zmiňováno. Jako takový nástroj pro lepší přehlednost a nalezení optimálního řešení při návrhu může sloužit následující vývojový diagram, na kterém je znázorněn proces robotizace obráběcího stroje. Na začátku procesu je důležité vzít v úvahu, o jakou obráběnou součást z hlediska tvaru a dalších parametrů a také o sériovost výroby. Z toho lze vyvodit závěr, zda má robotizace smysl, či nikoliv. Následně je nutné zjistit, zda stávající obráběcí stroj je uzpůsoben pro robotizaci. V případě, že toto kritérium splňuje, následuje volba vhodného robota. Jestliže toto kritérium není splněno, je potřeba stroj příslušně upravit, popřípadě pořídit takový, který vyhovuje. Poté je nalezena optimální konfigurace pracoviště a vyhodnotí se jak z ekonomického hlediska, tak z hlediska úspory času pracovního cyklu. Pokud vyhovuje takové řešení, přejde se k realizaci, v opačném případě se hledá efektivnější řešení.



Obr. 39) Vývojový diagram návrhu robotizace OS

5.3 Příklad robotizovaného pracoviště

V blíže nejmenované (anonymizováno z pochopitelných příčin GRPD), ale renomované strojírenské společnosti, byly autorovi této bakalářské práce laskavě poskytnuty podklady, které se váží k tématu (zadání BP). Společnost je dodavatelem součástek do automobilového a leteckého průmyslu. Jedná se o slévarenskou společnost, která má i obrobnu.

Pro uvedení příkladu robotizovaného technologického pracoviště je znázorněno RTP této progresivně se vyvíjející společnosti. Robotizace byla provedena za účelem zvýšení produktivity výroby a zároveň za účelem snížení nákladů pro splnění požadovaných norem, aby bylo možné zakázku v požadovaném termínu doručit zákazníkovi. Níže je popsána volba vhodného robotu k příslušnému CNC OC a obráběné součásti a další náležitosti spjaté s daným RTP.

5.3.1 Číslicově řízené obráběcí centrum typ MÜGA S 500



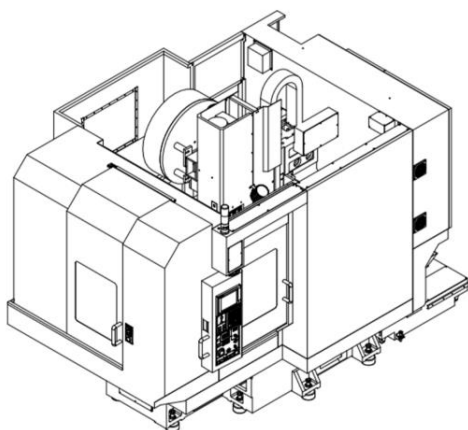
Obr. 40) CNC OC MÜGA S 500 – pohled zleva [53]

Tab. 20) Technické parametry CNC OC – MÜGA S 500 [55]

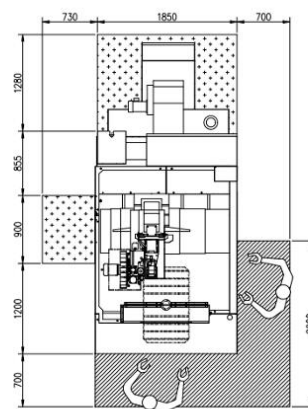
Pracovní prostor	mm	X: 500, Y: 400, Z: 350
Rozměr stolu (délka/šířka)	mm	600 x 400
Zásobník nástrojů	ks	20
Rychloposuv	m/min	X: 36, Y: 36, Z: 48
Počet řízených os		4
Vřeteno		
Otáčky	ot./min	60 – 15 000
Výkon	kW	5,5

Další informace:

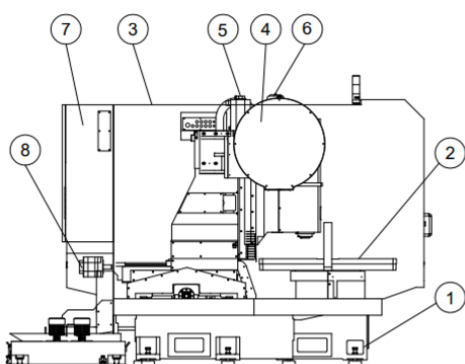
- Maximální hmotnost obrobku 250 kg
- Automatická výměna nástrojů - 1,2 s
- Dopravník třísek
- Splňuje podmínky pro spolupráci s průmyslovým robotem



Obr. 41) MÜGA S 500 [55]

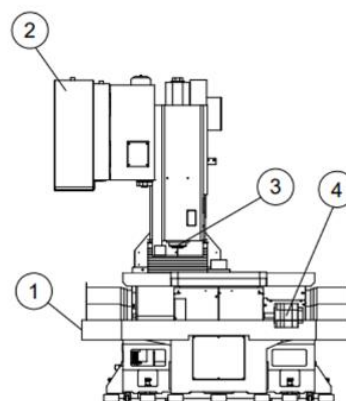


Obr. 42) Pracovní prostor obsluhy [55]



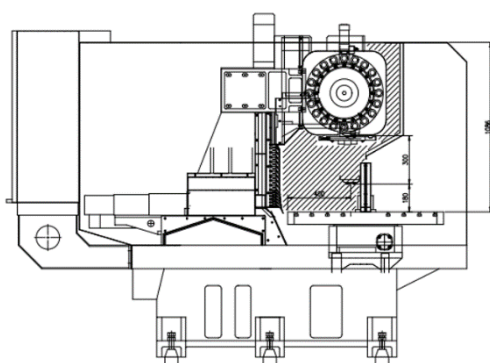
1	Základová deska	5	Motor osa - Z
2	Pracovní stůl	6	AVN
3	Sloup	7	Elektronická skříň
4	Zásobník nástrojů	8	Motor osa - Y

Obr. 43) Schéma 1 CNC OC MÜGA S 500 [55]

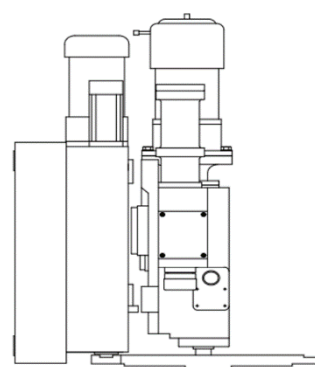


1	Základová deska	3	Vřeteno
2	Zásobník nástrojů	4	Motor osa - X

Obr. 44) Schéma 2 CNC OC MÜGA S 500 [55]



Obr. 45) Bubnový zásobník nástrojů [55]



Obr. 46) AVN [55]

5.3.2 Obráběná součást

Obráběnou součástí je odlitek ze slitiny hliníku a dalších příměsových prvků, zajišťující požadující mechanické vlastnosti polovýrobku kruhového tvaru o rozměrech: Ø 66 x 19 mm a hmotnosti 39 g. Na dané součásti se budou provádět dvě obráběcí operace: odstranění ostrých hran, způsobených z předchozí operace přesného lití po hrubém ostřížení výronku (odlitku) a druhou operací je vrtání díry. Vzhledem k tvaru, velikosti a počtu prováděných obráběcích operací splňuje součást tyto kritéria pro aplikaci průmyslového robotu.



Obr. 47) Stav před obrobením [57]




Obr. 48) Stav po obrobení [57]

5.3.3 Průmyslový robot – YASKAWA MH5LF

Vhodnou volbou pro manipulaci se zadanou součástí a dostupností je průmyslový robot MH5LF společnosti Yaskawa (Japonsko). Technické parametry jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 21) Technické parametry robotu YASKAWA MH5LF [54]

	Užitečné zátížení (kg)	Maximální dosah (mm)	Opakovatelnost (přesnost polohy) (mm)	Hmotnost (kg)	Způsob ukotvení	Počet os (-)
MH5LF 	5	895	± 0,03	27	Podlaha; strop; stěna; lib. úhel	6

5.3.4 Studie proveditelnosti

Zastřešující firmou celého projektu byla mateřská německá společnost GmbH & Co. KG. Tato společnost oslovila dodavatele podtlakové jednotky J. Schmalz GmbH a kooperujícího robotizovaného pracoviště od firmy FMB Maschinenbaugesellschaft mbH & Co. KG. Vše zastřešovala a předávala do chodu firma Muga Werkzeugmaschinen GmbH.

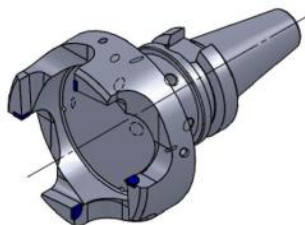
Robotizované pracoviště je realizováno:

- Obráběcím centrem CNC OC MÜGA S 500

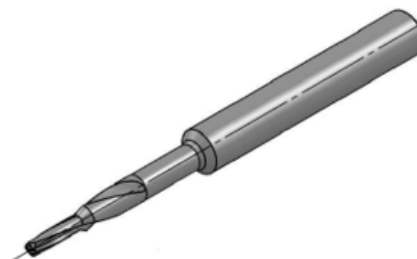
Je vybaveno všemi prvky zajišťující automatizovaný chod a spolupráci s PR (AVN, AVO, dopravník třísek, vhodný řídicí systém). Přípravek pro obráběné součásti je navržen pro opracování 4 dílů najednou. Je vyroben ve dvou verzích pro stranu A a stranu B (zakládání a obrábění). Zajištění dílů je řešeno pomocí vakuového systému od společnosti Schmalz. Pro obráběcí operace jsou použity dva nástroje společnosti UC tools (čelní kotoučová fréza obvodová – dokončovací operace po ostříhu, vrták – vyvrtání průchozí díry). Uvnitř CNC OC je zajištění kontroly stavu vrtáku pomocí senzoru (laseru).



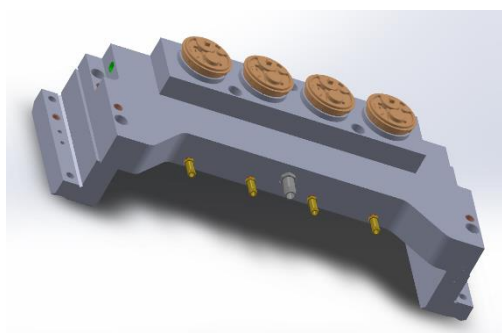
Obr. 49) AVN
(výměník nástrojů)



Obr. 50) Čelní
kotoučová obvodová
fréza [56]



Obr. 51) Vrták speciální
[56]



Obr. 52) Přípravek k upnutí
součástek na CNC OC [57]



Obr. 53) Vakuový systém pro
upínání součástek [58]

CNC OC MÜGA S 500 a průmyslový robot YASKAWA MH5LF mají řídicí své vlastní řídicí systémy odděleně.



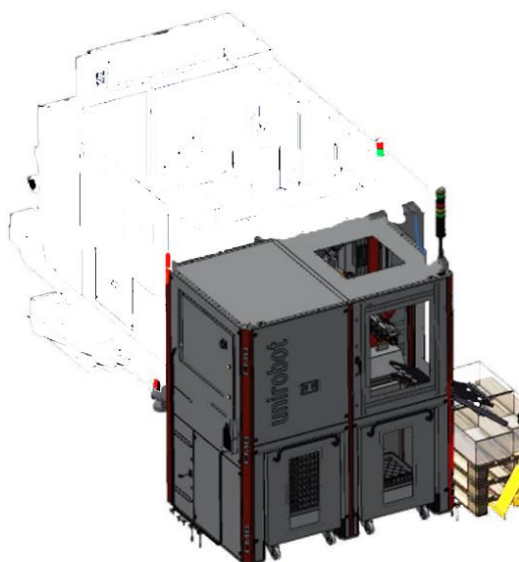
Obr. 54) Řídící systém CNC Control Mitsubishi M80 (CNC)



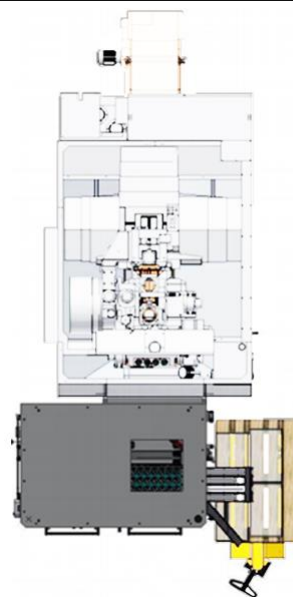
Obr. 55) Řídící systém Yaskawa Motoman FS100 Controller s teach pendantem [60]

- Výrobní buňka (společnosti FMB Maschinenbau) s průmyslovým robotem YASKAWA MH5LF

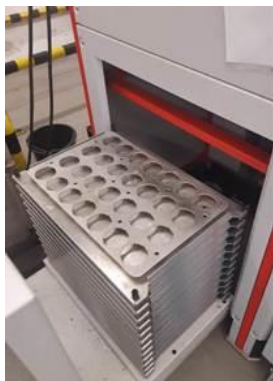
Buňka plní funkci bezpečnostního prvku průmyslového robotu. Robot má uzpůsobený koncový efektor (navržen společností FMB Maschinenbau) k manipulaci 4 dílů najednou a je vybaven tryskou, která slouží pro ofukování třísek a chladicí emulze. Součástí buňky je jednoúčelový manipulátor, který manipuluje s paletkami, které se skládají na vozík a dodává PR odlitky pro obrobení a tok obrobených dílů je zajištěn skluzovými drahami. Dále je zde senzor pro kontrolu kusů a nástroj pro ofukování hotových kusů. Buňka je vybavená dálkovou signalizací (iQGSM-A1), která hlídá dostupnost odlitků na paletkách a případné poruchy tak, že zašle včas SMS seřizovači a zamezí se tak zdoluhavým prostojeům.



Obr. 56) Buňka (perspektivní pohled) [59]



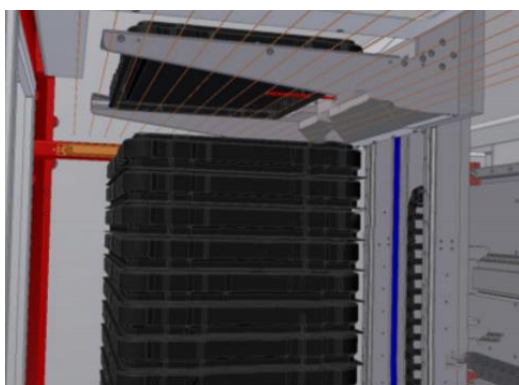
Obr. 57) Buňka (pohled shora) [59]



Obr. 58) Vozík s prázdnými paletkami [57]



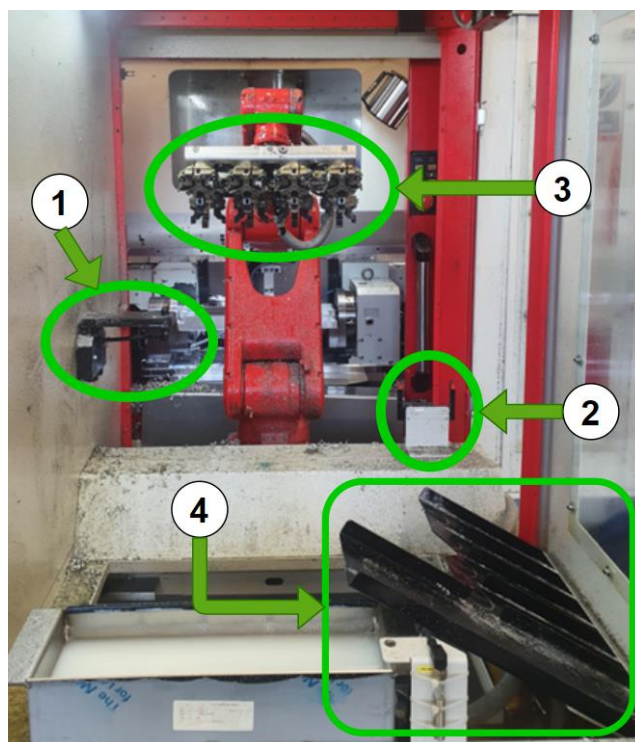
Obr. 59) Vozík s paletkami plně obsazený součástkami pro obrobení [57]



Obr. 60) Jednoučelový manipulátor palet [59]



Obr. 61) GSM signalizace přítomnosti obrobku a poruchy stroje [57]



Obr. 62) Vnitřní prostor výrobní buňky OC s robotem

Tab. 22) Prvky výrobní buňky

1) Nástroj pro kontrolu obrobených kusů – průchodnost díry
2) Senzor pro kontrolu přítomnosti kusů – před i po obrobení
3) Koncový efektor průmyslového robotu
4) Skluz pro hotové kusy – 4 skluzy pro OK kusy, 1 skluz pro NOK kusy

- Okolí pracoviště

Pracoviště je ohraničeno pro zajištění bezpečnosti. Pro zajištění toku materiálu je jasně dána pozice ohradové palety s odlitky (vlevo) a ohradové palety s polovýrobky (vpravo). Mezi těmito paletami se nachází vozík s plnými paletkami a zaměňuje se s vozíkem s prázdnými paletkami z buňky.

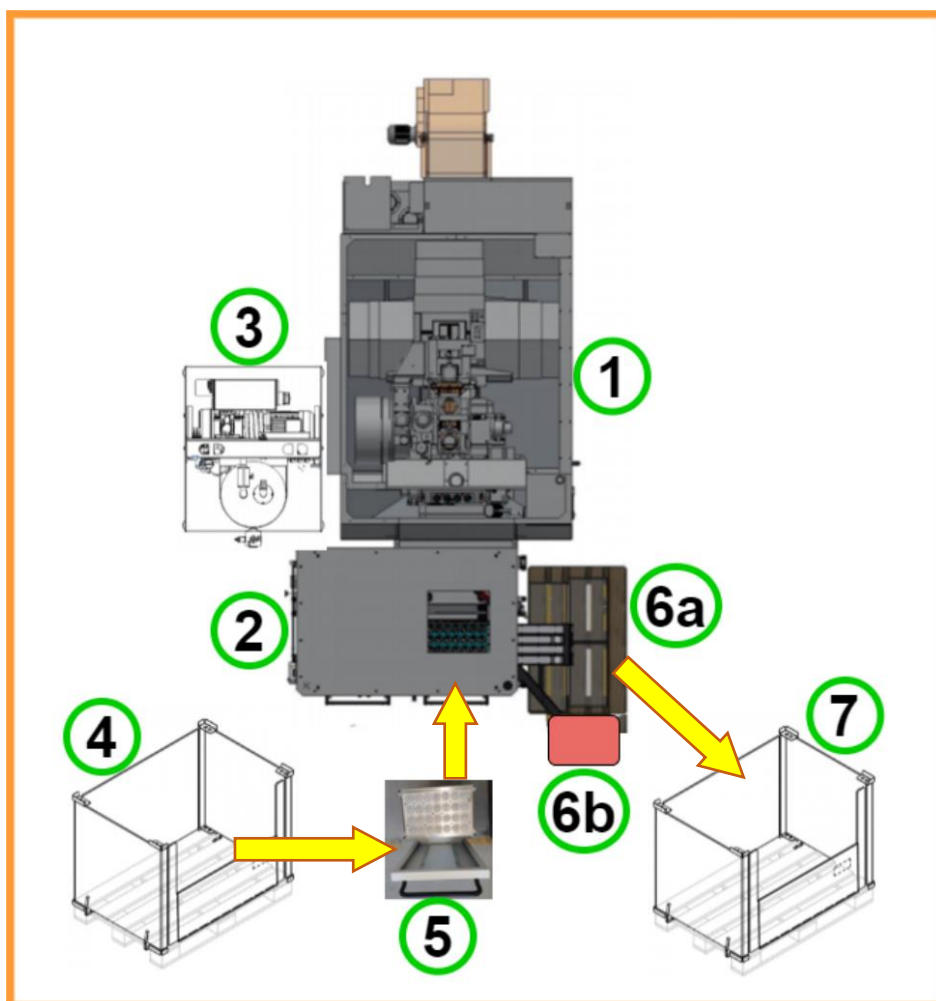


Obr. 63) Okolí RTP

Popis pracovního procesu:

Schéma rozložení pracoviště a tok materiálu (žluté šipky) jsou znázorněny na obr. 64). Pracovní proces je popsán v následujícím odstavci.

Vyhotovenou součástí je obrobek kruhového tvaru. Po příslušných procesech ve slévárenském sektoru jsou odlitky ve volně ložené ohradové paletě (4) přesunuty do obrobny k CNC OC s průmyslovým robotem, kde se ručně zkontrolují a následně se skládají do paletky s blistry, čímž je splněna základní orientace odlitků pro další manipulaci. Tyto paletky jsou umístěny na vozík (5), který je následně vsunut do buňky s robotem (2). Následuje podávání odlitků na paletkách průmyslovému robotu pomocí jednoúčelového manipulátoru integrovaného v buňce. Robot uchopí čtyři odlitky najednou a následuje kontrola přítomnosti pomocí laserového paprsku. V případě, že jsou kusy přítomny na všech pozicích, následuje ofouknutí přípravku CNC OC a následné založení odlitků na přípravek (1). Odlitky jsou zajištěny podtlakem pomocí vakuového systému. Následuje automatická výměna obrobků, díky integrovanému jednoúčelovému manipulátoru pro výměnu palet s obrobky a příslušné obráběcí operace. Nejprve je provedeno sražení hran a poté vyvrtání děr. To vše je opět automatizováno díky automatickému výměníku nástrojů. Po skončení vrtání děr je vrták kontrolován pomocí senzoru, zda nedošlo k ulomení špičky vrtáku. Po obráběcím procesu proběhne opět výměna palet s obrobky. Manipulaci robotu s polovýrobky jsou kontrolovány na nástroji s profukem (2) a po následném vyhodnocení jsou přesunuty na skluz s příslušným označením (OK – v pořádku, NOK – zmetky), který dopraví obrobené součásti do příslušných beden (6). Celý proces je prováděn opakovaně, dokud nejsou obrobeny všechny odlitky z vozíku. V případě chyby nebo po obrobení všech odlitků je zaslána SMS seřizovači pomocí dálkové signalizace, aby došlo k rychlému zásahu a byl tím minimalizován prostoj stroje. Při dokončení procesu se přemístí polovýrobky z beden u skluzu do ohradové palety s polovýrobky (7), která po naplnění kapacity putuje na další technologické operace.



Obr. 64) Schéma rozložení pracoviště včetně toku materiálu

Tab. 23) Komponenty robotizovaného pracoviště

1) CNC OC – MÜGA S 500
2) Buňka – PR Yaskawa MH5LF, 2 vozíky s paletkami a JÚ manipulátorem pro manipulaci s paletkami
3) Vakuový systém – Vacuum Operation Center VOC-AD-S-40-A (Schmalz)
4) Ohradová paleta s odlitky
5) Vozík s paletkami
6) 6a – Bedny s OK kusy, 6b – Bedna s NOK kusy
7) Ohradová paleta s polovýrobky (obrobky)
➡ Tok materiálu

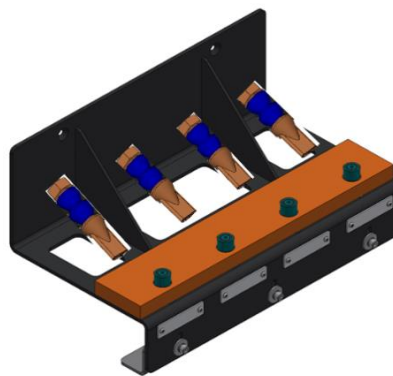
5.3.5 Zvýšení produktivity pracoviště

Postupem času, kdy se buňka zavede do provozu, se přichází stále na další „vylepšení“, které mohou snížit pracovní čas a zvýšit tak produktivitu. Je samozřejmě potřeba brát v úvahu, zda je daná úprava ekonomicky výhodná i navzdory tomu, že se sníží pracovní čas. Někdy totiž mohou být takové úpravy pracoviště velmi nákladné a nemusí se tak vyplatit (v praxi očekávaná návratnost do 6 měsíců).

Po vyhodnocení jak pracovního času, tak i ekonomického hlediska, byla schválena úprava robotizovaného pracoviště následujícím prvkem. Jedná se o prvek testující obrobené kusy. Původní verze byla, že se musely testovat díly za sebou. V případě nové verze se jedná o testování všech čtyř dílů naráz. Realizací dané úpravy pracoviště byl pracovní proces zkrácen o 6 sekund, tedy z 59 na 53 sekund.



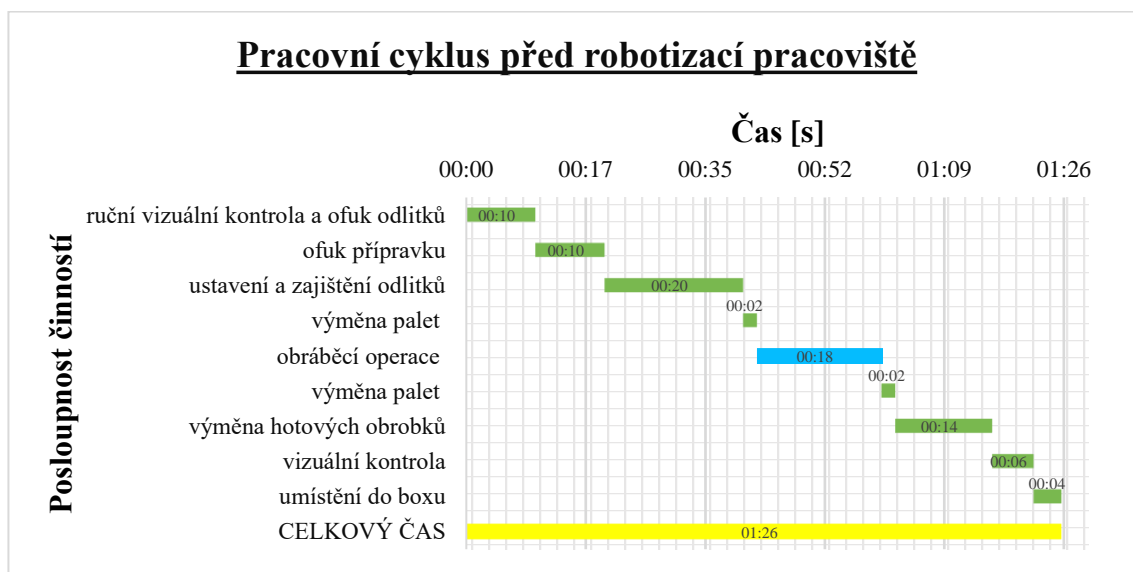
Obr. 65) Původní verze kontrolního prvku obrobených polovýrobků (profuk a kontrola dutiny)



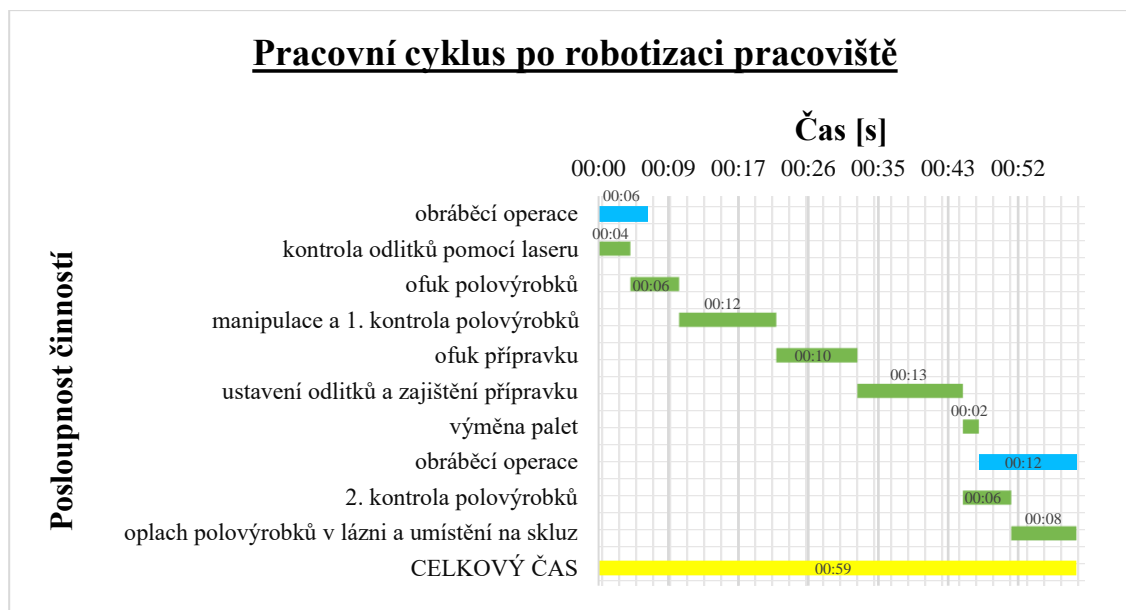
Obr. 66) Nová verze kontrolního prvku obrobených polovýrobků (profuk a kontrola dutiny) [57]

5.3.6 Vyhodnocení efektivity aplikace PR

K porovnání a vyhodnocení, zda se vyplatí aplikace průmyslového robotu z hlediska úspory času, tudíž zvýšením produktivity, slouží tzv. Ganttův diagram. Na svislé ose je posloupnost činností vykonávaných při pracovním procesu a na vodorovné ose je čas.



Obr. 67) Ganttův diagram pracovního cyklu před aplikací PR



Obr. 68) Ganttův diagram pracovního cyklu po aplikaci PR

Z diagramů je zřejmé, že robotizací pracoviště se zredukuje čas pracovního cyklu přibližně o 27 sekund, což je oproti původním času pracovního cyklu téměř zkrácení o 30 %. V diagramu nejsou zobrazeny časy nesouvisející s pracovním cyklem (oprava poruch stroje/robotu, ...). Z hlediska časové úspory je toto řešení efektivní.

5.3.7 Výpočet doby návratnosti

V této části případové studie se jeví jako nezbytným ekonomickým parametrem výpočet doby návratnosti vložených investičních prostředků týkajících se inovace výrobního procesu na CNC OC zavedením robotu, který bezprostředně nahrazuje obsluhu stroje z hlediska manipulace se součástkou. Vzhledem k tomu, že se jedná o citlivé vstupní údaje, autor této BP dává na vědomí, že o této skutečnosti ví, avšak z pochopitelného nedostatku vstupních údajů není konkrétní výpočet doby návratnosti proveden. Je však z dosavadních poznatků zřejmé, že inovace CNC OC pomocí PR se jeví jako výhodná.

5.3.8 Dílčí závěr k návrhu RTP

Z výše uvedených vyhodnocení jednoznačně vyplývá, že stávající pracoviště s CNC OC, které je vybaveno průmyslovým robotem, výrazně přispívá ke zvýšení produktivity výroby a současně k úsporám financí a času.

Dále je vhodné zmínit, že o pracoviště je nutné se starat z pohledu údržby a servisu zařízení. Dbát na dodržování periodik údržby. Pravidelnou údržbou a servisem se zajišťuje delší životnost zařízení. Jako takovou údržbou se rozumí například profylaktický prohlídka robota, kde se odzkouší všechny provozní režimy a má za cíl zjistit, zda pracuje spolehlivě a v souladu s technickými standarty.

6 VLASTNÍ ZÁVĚRY A DOPORUČENÍ PRO DALŠÍ ROZVOJ ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Cílem této bakalářské práce bylo popsat robotizaci obráběcího stroje pomocí průmyslového robotu. Robotizace v technologii obrábění je vhodná z důvodů, že se jedná o rozsáhlé strojírenské odvětví. Za tímto účelem byl nejprve popsán současný stav CNC obráběcích strojů a průmyslových robotů (včetně kolaborativních) vhodných pro použití u obráběcích strojů. Hlavním faktorem ovlivňujícím vývoj CNC obráběcích strojů jsou především dynamičnost okolí neboli měnící se požadavky ze strany zákazníka, a současné trendy na trhu. Především je kladen důraz na rychlost, preciznost a ekonomičnost, tedy, aby se dané součástky vyráběly v co nejkratším čase, s co největší přesností (kvalitou) a za co nejmenší náklady. Právě implementace průmyslového, či kolaborativního robotu se jeví jako vhodnou cestou k dosažení těchto požadavků. Mnohdy je automatizace jedinou variantou, jak zvýšit produkci z důvodů absence pracovní síly v daném regionu, či zvýšení konkurenceschopnosti vůči firmě s levnou pracovní silou. Následně byl popsán systémový rozbor řešené problematiky spolupracující soustavy obráběcí stroj – robot. Pro návrh vhodného a efektivního řešení robotizovaného technologického pracoviště (RTP) je potřeba aplikovat systémový rozbor, neboť se jedná o interdisciplinární problém, při kterém vstupuje při jeho řešení mnoho faktorů, které je potřeba zohlednit a správně vyhodnotit. Aby bylo navrhování efektivní, je zapotřebí porozumění samotné problematice výrobního procesu a zároveň i samotné problematice robotizace. Uspořádání strojů a zařízení v RTP je zvoleno vždy tak, aby bylo co nejjednodušší a zároveň co nejúčinnější. Je vhodné brát ohled, aby manipulace s materiálem, nástroji a odpadem, byla jednoduchá a hospodárná. Významným tématem k řešení této problematiky je digitalizace, kdy pomocí softwarů je cílem zajistit zabezpečení, diagnostiku výroby a pomocí umělé inteligence bylo následné řízení a nastavování pro programátora co nejjednodušší. Taktéž je možné předem vytvořit pomocí příslušného softwaru tzv. digitální dvojče a optimalizovat tak celý proces ještě před jeho realizací. V další části byly uvedeny známé řešení robotizace obráběcí techniky. Poté následovala kapitola, kde byl popsán rámcový postup, jak z hlediska technického a provozního dát podnět k zamyšlení a stručný návod na uplatnění průmyslového robotu u obráběcího stroje. Postup obsahuje zohlednění a zhodnocení návrhu od technických parametrů a technologických možností obráběcího stroje až po ekonomické hledisko. Pro lepší přehlednost bylo zde uvedeno taktéž blokové schéma. Tato kapitola má za úkol posloužit jako návod pro podnik, který by se rozhodl pro robotizaci OS.

Na základě laskavého souhlasu blíže nejmenované, ale renomované strojírenské společnosti, která dodává součástky především do automobilového a leteckého průmyslu, bylo možné zpracovat případovou studii RTP této společnosti do méj práce. Tato případová studie byla vypracována nad rámec zadání BP. V této kapitole byla provedena studie proveditelnosti RTP, kdy zastřešující firmou celého projektu byla mateřská společnost GmbH & Co. KG ve Spolkové republice Německo. Tato společnost oslovila dodavatele podtlakové jednotky J. Schmalz GmbH a kooperujícího robotizovaného pracoviště od firmy FMB Maschinenbaugesellschaft mbH & Co. KG. Vše zastřešovala a předávala do chodu firma Muga Werkzeugmaschinen GmbH. Pracoviště je realizováno z CNC OC MÜGA S 500 a výrobní buňky (společnosti FMB Maschinenbau) s průmyslovým robotem YASKAWA MH5LF, dále okolí pracoviště je tvořeno dvěma ohradovými paletami a pro zajištění toku materiálu jsou přesně definovány pozice ohradových palet s odlitky a s polovýrobky. Mezi těmito paletami se nachází vozík s plnými paletkami a zaměňuje se s vozíkem s prázdnými paletkami z buňky.

Dále zde bylo provedeno vyhodnocení efektivity pracoviště pomocí Ganttových diagramů, kdy byly porovnány časy pracovních procesů před a po aplikaci PR. Z analýzy vyšlo, že aplikace PR značně zkrátila čas pracovního cyklu, a to přibližně o 30 % (z 86 sekund na 59 sekund). Společnost se rozhodla ještě více zefektivnit výrobu pomocí úpravy kontrolního prvku obrobených polovýrobků. Touto úpravou snížen pracovní cyklus o další 4 sekundy, tedy na 55 sekund. Z důvodů citlivých dat výpočet doby návratnosti nebylo možné konkrétně realizovat, avšak z dosavadních poznatků se jeví tato inovace CNC OC pomocí PR jako výhodná. Z výše uvedených vyhodnocení jednoznačně vyplývá, že stávající pracoviště s CNC OC, které je vybaveno průmyslovým robotem, výrazně přispívá ke zvýšení produktivity výroby a současně k úsporám financí a času. Dále je vhodné zmínit, že o pracoviště je nutné se starat z pohledu údržby a servisu zařízení. Dbát na dodržování periodik údržby. Pravidelnou údržbou a servisem se zajišťuje delší životnost zařízení a je sníženo riziko poruchovosti.

Na závěr můžeme tedy obecně považovat robotizaci OS pomocí PRaM za výraznou inovaci stávající výrobní soustavy ve smyslu zvýšení produktivity práce vlastního OS a snížení výrobních nákladů, díky možnosti nepřetržitému chodu OS v rámci výrobního procesu a další bezpochyby žádané pozitivní vlivy. Z hlediska budoucnosti lze považovat oblast robotizace za velmi perspektivní obor, kdy jako jedním z důvodů je klesající trend nově narozených dětí, což bude mít za následek nedostatek pracovní síly, a tudíž řešením bude právě aplikace prvků robotizace a automatizace, popřípadě nové pracovní síly ze zahraničí. Samozřejmě robotizace nese s sebou i nevýhody, kdy se jedná například o nutnost mít zaškolenou obsluhu RTP, vyšší pořizovací náklady, nedůvěře dělníků vůči automaticky pracujícím strojům a zařízením, či riziko z hlediska kybernetiky, kdy může být dané zařízení napadeno hackery, což může mít fatální následky pro podnik (odcizení citlivých dat, úmyslné narušení, či zablokování výrobního procesu, a další). Proto musí být brán ohled i na zabezpečení zařízení.

Souhrnně se dá též tvrdit, že vše podrobně výše popsáno jsou v podstatě realizované prvky v rámci zásad Průmyslu 4.0 na možné úrovni znalostí a vědění autora této BP a konzultantů z praxe, kterým tímto velmi děkuji za podnětné nápady, poznatky a vylepšení.

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] MAREK, Jiří. Konstrukce CNC obráběcích strojů IV.0. Praha: MM publishing, 2018. MM speciál. ISBN 978-80-906310-8-3
- [2] KOLÍBAL, Zdeněk. Roboty a robotizované výrobní technologie. První vydání. Brno: Vysoké učení technické v Brně – nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.
- [3] Global top 10 CNC machine tool. *Machine MFG* [online]. 2019 [cit. 2020-12-29]. Dostupné z: <https://www.machinemfg.com/top-10-cnc-machine-tool-companies/>
- [4] CV5-500. MAZAK [online]. [cit. 2020-12-29]. Dostupné z: <https://www.mazakeu.cz/cs/cv5-500/>
- [5] GENOS M460V-5AX. OKUMA [online]. [cit. 2020-12-29]. Dostupné z: <https://www.okuma.com/products/genos-m460v-5ax>
- [6] CMX 70 U. DMG MORI [online]. 2018 [cit. 2020-12-29]. Dostupné z: <https://cz.dmgmori.com/produkty/stroje/frezovani/petiose-frezovani/cmx-u/cmx-70-u>
- [7] SMTCL CNC machining center 5-axis vertical bridge type VMC-e series. *Direct INDUSTRY* [online]. [cit. 2020-12-29]. Dostupné z: <https://pdf.directindustry.com/pdf/shenyang-machine-tool/smtcl-cnc-machining-center-5-axis-vertical-bridge-type-vmc-e-series/53713-609942.html>
- [8] EC-1600ZT-5AX. Haas Automation Inc. - CNC Machine Tools [online]. [cit. 2020-12-29]. Dostupné z: <https://www.haascnc.com/machines/horizontal-mills/ec-series/models/ec-1600zt-5ax.html>
- [9] Ultra Precision Machine FANUC ROBONANO α -NMiA. FANUC [online]. [cit. 2020-12-29]. Dostupné z: <https://www.fanuc.co.jp/en/product/robonano/alphanmia.html>
- [10] MCU 700V[T]-5X NEXT GENERATION. *Obráběcí stroje, CNC stroje, CNC soustruhy / KOVOSVIT MAS* [online]. [cit. 2020-12-29]. Dostupné z: <https://www.kovosvit.cz/mcu-700vt-5x-next-generation-p39.html#main>
- [11] TOS FS. Úvod – TOS Kuřim – OS, a.s. [online]. [cit. 2020-12-29]. Dostupné z: <http://www.tos-kurim.cz/cz/produktove-portfolio/horizontalni-obrabeci-centra/tos-fs>
- [12] Vývoj, výroba a prodej obráběcích strojů • TAJMAC-ZPS. Úvod – TOS Kuřim – OS, a.s. [online]. [cit. 2020-12-29]. Dostupné z: <https://www.tajmac-zps.cz/multifunkcni-obrabeci-centrum-mcg-1000-5xt>
- [13] POWERTURN. *Strojimport: Vybavíme stroje a náhradní díly po celém světě* [online]. [cit. 2020-12-29]. Dostupné z: <http://www.strojimport.cz/maschinen/powerturn/>
- [14] POWERTURN. TOSHULIN: Úvod [online]. [cit. 2020-12-29]. Dostupné z: <https://www.toshulin.cz/produktove-portfolio/powerturn/>
- [15] Knoflíček, R.: *Stavba výrobních strojů a robotů*. (Průmyslové roboty a manipulátory 3. Konstrukce PRaM) Brno :VUT FSI, 9.12.2020.
- [16] *FactoryAutomation.cz | Časopis o automatizaci a robotice* [online]. Copyright © [cit. 30-01-2021]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/>
- [17] Kolaborativní průmyslové roboty mýtů zbavené. *Vše o průmyslu* [online]. 2.5.2019 [cit. 2021-01-31]. Dostupné z: <https://www.vseoprumsly.cz/inspirece/firemni-novinky/kolaborativni-prumyslove-roboty-zbavene-mytu.html>
- [18] Robot Race: The World's Top 10 automated countries. *IFR* [online]. [cit. 2021-01-31]. Dostupné z: <https://ifr.org/ifr-press-releases/news/robot-race-the-worlds-top-10-automated-countries>

- [19] Industrial Robots. *IFR* [online]. [cit. 2021-01-31]. Dostupné z: <https://ifr.org/industrial-robots>
- [20] IRB 120. *ABB* [online]. [cit. 2021-01-31]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-120>
- [21] IRB 8700. *ABB* [online]. [cit. 2021-01-31]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-8700>
- [22] RX 160. *Stäubli* [online]. [cit. 2021-01-31]. Dostupné z: <https://www.staubli.com/en/robotics/product-range/industrial-robots/6-axis-robots/rx160/>
- [23] TX200. *Stäubli* [online]. [cit. 2021-01-31]. Dostupné z: <https://www.staubli.com/en/robotics/product-range/industrial-robots/6-axis-robots/tx200/>
- [24] KR CYBERTECH nano. *KUKA* [online]. [cit. 2021-01-31]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz/produkty,-slu%C5%BEby/robotick%C3%A9-syst%C3%A9my/pr%C5%AFmyslov%C3%A9-roboty/kr-cybertech-nano>
- [25] KR 1000 titan. *KUKA* [online]. [cit. 2021-01-31]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz/produkty,-slu%C5%BEby/robotick%C3%A9-syst%C3%A9my/pr%C5%AFmyslov%C3%A9-roboty/kr-1000-titan>
- [26] LR Mate 200iD. *FANUC* [online]. [cit. 2021-01-31]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/str%C3%A1nka-filtru-robot%C5%af/%C5%99ada-lrmate/lrmate-200-id>
- [27] M-2000iA/2300. *FANUC* [online]. [cit. 2021-01-31]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/str%C3%A1nka-filtru-robot%C5%af/%C5%99ada-m-2000>
- [28] RS013N Robot. *Kawasaki* [online]. [cit. 2021-01-31]. Dostupné z: <https://robotics.kawasaki.com/en1/products/robots/small-medium-payloads/RS013N/>
- [29] MG15HL. *Kawasaki* [online]. [cit. 2021-01-31]. Dostupné z: <https://robotics.kawasaki.com/en1/products/robots/extra-large-payloads/MG15HL/>
- [30] Vysvětle, co je to systém a informační systém a popište jejich základní vlastnosti. *Wikisofia* [online]. [cit. 2021-02-11]. Dostupné z: https://wikisofia.cz/wiki/Vysv%C4%9Btlete,_co_je_to_syst%C3%A9m_a_informa%C4%8Dn%C3%AD_syst%C3%A9m_a_popi%C5%A1te_jejich_z%C3%A1kladn%C3%AD_vlastnosti
- [31] Systémový přístup k automatizaci: Sborník konference AUTOS 2000. Praha: TERIS, 2002. ISSN ISSN 1212- 5709.
- [32] Obráběcí stroje pro produkční výrobu. *MM spektrum* [online]. 13.12.2017 [cit. 2021-03-06]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/obrabeci-stroje-pro-produkcnivyrobu>
- [33] SWIFTI™ CRB 1100. *ABB* [online]. 2021 [cit. 2021-03-06]. Dostupné z: <https://webshop.robotics.abb.com/swifti-crb-1100-assembly.html>
- [34] CNC Machining Center Components. *TAI CNC* [online]. [cit. 2021-03-06]. Dostupné z: <https://www.lvenc.com/cnc-machining-center-components.html>
- [35] Gantry loader. *MAZAK* [online]. [cit. 2021-03-06]. Dostupné z: <https://www.mazakeu.com/gantry-loader/>
- [36] Additional Automation Systems. *MAZAK* [online]. [cit. 2021-03-06]. Dostupné z: <https://www.mazakeu.com/additional-automation-systems/>

- [37] Machine Tending - Loading/Unloading with Motoman Robots. YASKAWA [online]. [cit. 2021-03-08]. Dostupné z: https://www.cz.yaskawa.eu.com/use-cases/applications/application/machine-tending_a10886
- [38] Mazak launches the easy setup automation system. SEISANZAI Japan [online]. [cit. 2021-03-08]. Dostupné z: <https://seisanzai-japan.com/article/p2084/>
- [39] Machine tending robots. FANUC [online]. [cit. 2021-03-08]. Dostupné z: <https://www.fanucamerica.com/solutions/applications/machine-tending-robots>
- [40] Flexible automation. CHIRON [online]. [cit. 2021-03-08]. Dostupné z: <https://chiron.de/en/products/technology/flexible-automation>
- [41] PROFIKA Robotics - výroba automatizovaných linek a robotizovaných pracovišť na míru. Profika.cz [online]. [cit. 2021-03-08]. Dostupné z: <https://www.profika.cz/cnc-stroje/robotizace>
- [42] G300. GROB [online]. [cit. 2021-03-08]. Dostupné z: <https://www.grobgroup.com/en/products/product-range/system-solutions/g-modules/g300/>
- [43] Mill Tending - UR5e with Ace Drawers. READY ROBOTICS [online]. [cit. 2021-03-09]. Dostupné z: <https://market.ready-robotics.com/our-products/mill-tending-ur5e-with-ace-drawers/>
- [44] The M&E guide to safe working with collaborative robots. *Maintenance and engineering* [online]. [cit. 2021-03-09]. Dostupné z: <https://www.maintenanceandengineering.com/2018/06/07/the-me-guide-to-safe-working-with-collaborative-robots/>
- [45] Productive Robotics Collaborative OB7- CNC Machine Tending COBOT. Doiq corporation [online]. [cit. 2021-03-09]. Dostupné z: <https://www.doiqcorp.com/Home/OB7-CNC-Machine-Tending-Cobot/>
- [46] Vention [online]. [cit. 2021-03-09]. Dostupné z: <https://vention.io/?home>
- [47] Advanced manufacturing od společnosti GF Machining Solutions. Oneindustry [online]. [cit. 2021-03-09]. Dostupné z: <https://nastrojarna.oneindustry.one/advanced-manufacturing-od-spolecnosti-gf-machining-solutions/>
- [48] Technical data IRB 14000 YuMi. ABB [online]. [cit. 2021-03-11]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/collaborative-robots/irb-14000-yumi/irb-14000-yumi-data>
- [49] Universal Robot UR5. Universal Robots [online]. [cit. 2021-03-11]. Dostupné z: <http://www.robotiq.cz/Nab%C3%ADka-robot%C5%AF/UR5>
- [50] Visual Components. CNC Plant with AGVs 30sec [video]. Youtube [online]. 6.10.2017 [cit. 2021-03-10]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=34g0pV3L_6o
- [51] Visual Components. Create simulation layout in 8 minutes with the Visual Components library [video]. Youtube [online]. 7.4.2014 [cit. 2021-03-10]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=_5dlXCC7vkQ
- [52] Visual Components. Simulate any manufacturing project with Visual Components [video]. Youtube [online]. 26.3.2019 [cit. 2021-03-10]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=LfrVUj5J7nM>
- [53] Muga S500 Left view. GINDUMAC [online]. [cit. 2021-03-29]. Dostupné z: https://www.gindumac.com/product/muga-s500_DE-MIL-MUG-2004-00001
- [54] Motoman MH5LF. RobotWorx [online]. [cit. 2021-03-29]. Dostupné z: <https://www.robots.com/robots/motoman-mh5lf>

- [55] *Bedienungsanleitung MÜGA S 500*. Werkzeugmaschinen GmbH. 2014
- [56] 30 - C3197A – nástroje. UC Tools. 2017
- [57] *Dokumenty vztahující se k robotizovanému pracovišti*. Mesit. 2021
- [58] *Vacuum Operation Center VOC-AD-S-40-A*. Schamlz. 2020
- [59] Originalbetriebsanleitung FMB unirobot MH5LF-2PW. FMB MASCHINENBAU. 2018
- [60] Yaskawa Motoman FS100 Controller. Robots Done Right. [online]. [cit. 2021-03-29].
Dostupné z: <https://robotsdoneright.com/Motoman/Yaskawa-Motoman-FS100-controller.html>

8 SEZNAM ZKRATEK, OBRÁZKŮ A TABULEK

8.1 Seznam tabulek

Tab. 1) Technické parametry CV5-500	20
Tab. 2) Technické parametry GENOS M460V-5AX	21
Tab. 3) Technické parametry CMX 70 U	22
Tab. 4) Technické parametry VMC0656e	23
Tab. 5) Technické parametry UMC-750 [8]	24
Tab. 6) Technické parametry FANUC ROBONANO α -NMiA	25
Tab. 7) Technické parametry MCU 700V[T]-5X NEXT GENERATION	26
Tab. 8) Technické parametry TOS FS 100	27
Tab. 9) Technické parametry MCG 1000 5XT	28
Tab. 10) Technické parametry POWERTURN 800	29
Tab. 11) Přehled parametrů PR výrobce ABB	35
Tab. 12) Přehled parametrů PR výrobce Stäubli	35
Tab. 13) Přehled parametrů PR výrobce KUKA	36
Tab. 14) Přehled parametrů PR výrobce FANUC	36
Tab. 15) Přehled parametrů PR výrobce Kawasaki	37
Tab. 16) Přehled parametrů kobotu CRB 1100 SWIFTI	39
Tab. 17) Přehled parametrů kobotu IRB 14000 YuMi	39
Tab. 18) Přehled parametrů kobotu UR 5	40
Tab. 19) Přehled řešení kolaborativního robotu a obráběcího stroje	49
Tab. 20) Technické parametry CNC OC – MÜGA S 500	62
Tab. 21) Technické parametry robotu YASKAWA MH5LF	64
Tab. 22) Prvky výrobní buňky	68
Tab. 23) Komponenty robotizovaného pracoviště	70

8.2 Seznam obrázků

Obr. 1) Obráběcí centrum CV5-500	20
Obr. 2) Obráběcí centrum GENOS M460V-5AX	21
Obr. 3) Obráběcí centrum CMX 70 U	22
Obr. 4) Obráběcí centrum VMC0656e	23
Obr. 5) Obráběcí centrum UMC-750	24
Obr. 6) CNC Obráběcí stroj FANUC ROBONANO α -NMiA	25
Obr. 7) Příklad výrobku pomocí FANUC ROBONANO α -NMiA (upraveno)	25
Obr. 8) Obráběcí centrum MCU 700V[T]-5X NEXT GENERATION	26
Obr. 9) Obráběcí centrum TOS FS 100	27
Obr. 10) Obráběcí centrum MCG 1000 5XT	28
Obr. 11) Obráběcí centrum POWERTURN 800	29
Obr. 12) Schéma rozdělení manipulačních zařízení	30
Obr. 13) Směr rozvoje robotiky	31
Obr. 14) Systémové pojetí průmyslového robotu	32
Obr. 15) Schéma rozdělení PRaM na subsystemy	32
Obr. 16) Statistika hustoty robotů ve výrobním průmyslu (2019) (upraveno)	34

Obr. 17) Statistika počtu implementovaných robotů za rok 2019 (upraveno)	34
Obr. 18) Podíl kobotů a tradičních průmyslových robotů (upraveno)	38
Obr. 19) Kolaborativní robot obsluhující CNC OC	40
Obr. 20) Schéma systému PR – CNC OS základní úrovně rozlišení	42
Obr. 21) Schéma systému PR – CNC OS na nižší rozlišovací úrovni.....	42
Obr. 22) Uspořádání obráběcích strojů	45
Obr. 23) Zásobník nástrojů diskový s JÚ manipulátorem	46
Obr. 24) PR integrovaný do CNC OC	46
Obr. 25) Zásobník palet s obrobky a manipulátorem	46
Obr. 26) CNC OC a portálový manipulátor	46
Obr. 27) Detailní popis PR umístěného ve skříní (buňky) s pojezdovými koly	47
Obr. 28) Maketa transferového stroje s robotickou manipulací	48
Obr. 29) Stavební struktury RTP	51
Obr. 30) Robotizovaný modul	51
Obr. 31) Robotizovaná buňka	52
Obr. 32) Skupina robotizovaných buněk, včetně ADV	52
Obr. 33) Pružný robotizovaný systém	52
Obr. 34) Robotizovaná výrobní linka	53
Obr. 35) Schéma AVS (upraveno)	54
Obr. 36) Pružná výrobní soustava využívající automatické dopravní vozíky (ADV)..	55
Obr. 37) Digitální továrna	56
Obr. 38) Rámcové schéma návrhu robotizace CNC OC ve firmě.....	60
Obr. 39) Vývojový diagram návrhu robotizace OS	61
Obr. 40) CNC OC MÜGA S 500 – pohled zleva	62
Obr. 41) MÜGA S 500	63
Obr. 42) Pracovní prostor obsluhy	63
Obr. 43) Schéma 1 CNC OC MÜGA S 500	63
Obr. 44) Schéma 2 CNC OC MÜGA S 500	63
Obr. 45) Bubnový zásobník nástrojů	63
Obr. 46) AVN	63
Obr. 47) Stav před obrobením	64
Obr. 48) Stav po obrobení	64
Obr. 49) AVN (výměník nástrojů).....	65
Obr. 50) Čelní kotoučová obvodová fréza	65
Obr. 51) Vrták speciální	65
Obr. 52) Přípravek k upnutí součástek na CNC OC	65
Obr. 53) Vakuový systém pro upínání součástek	65
Obr. 54) Řídicí systém CNC Control Mitsubishi M80 (CNC)	66
Obr. 55) Řídicí systém Yaskawa Motoman FS100 Controller s teach pendantem	66
Obr. 56) Buňka (perspektivní pohled)	67
Obr. 57) Buňka (pohled shora)	67
Obr. 58) Vozík s prázdnými paletkami	67
Obr. 59) Vozík s paletkami plně obsazený součástkami pro obrobení	67
Obr. 60) Jednoúčelový manipulátor palet	67
Obr. 61) GSM signalizace přítomnosti obrobku a poruchy stroje	67
Obr. 62) Vnitřní prostor výrobní buňky OC s robotem	68
Obr. 63) Okolí RTP	69

Obr. 64) Schéma rozložení pracoviště včetně toku materiálu.....	70
Obr. 65) Původní verze kontrolního prvku obrobených polovýrobků (profuk a kontrola dutiny)	71
Obr. 66) Nová verze kontrolního prvku obrobených polovýrobků (profuk a kontrola dutiny) [57]	71
Obr. 67) Ganttův diagram pracovního cyklu před aplikací PR.....	71
Obr. 68) Ganttův diagram pracovního cyklu po aplikaci PR.....	72

8.3 Seznam použitých zkratk

ADV	Automatický dopravní vozík
AVS	Automatizované výrobní soustavy
CAD/CAM	Computer-aided design/Computer-aided manufacturing
CIM	Computer-integrated manufacturing
CNC	Computer numerical control
JÚ	Jednoúčelový manipulátor
JÚS	Jednoúčelové stroje
KD	Kinematická dvojice
Kobot	Kolaborativní (spolupracující) robot
NC	Numerical control
OC	Obráběcí centrum
OS	Obráběcí stroj
PLC	Programmable logic controller
PR	Průmyslový robot
PRaM	Průmyslové roboty a manipulátory
PVB	Pružná výrobní buňka
PVL	Pružná výrobní soustava
PVS	Pružné výrobní soustavy
RTP	Robotizované technologické pracoviště
RVS	Robotizovaná výrobní soustava

9 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č.1 – Souhlas s poskytnutím informací pro BP